This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

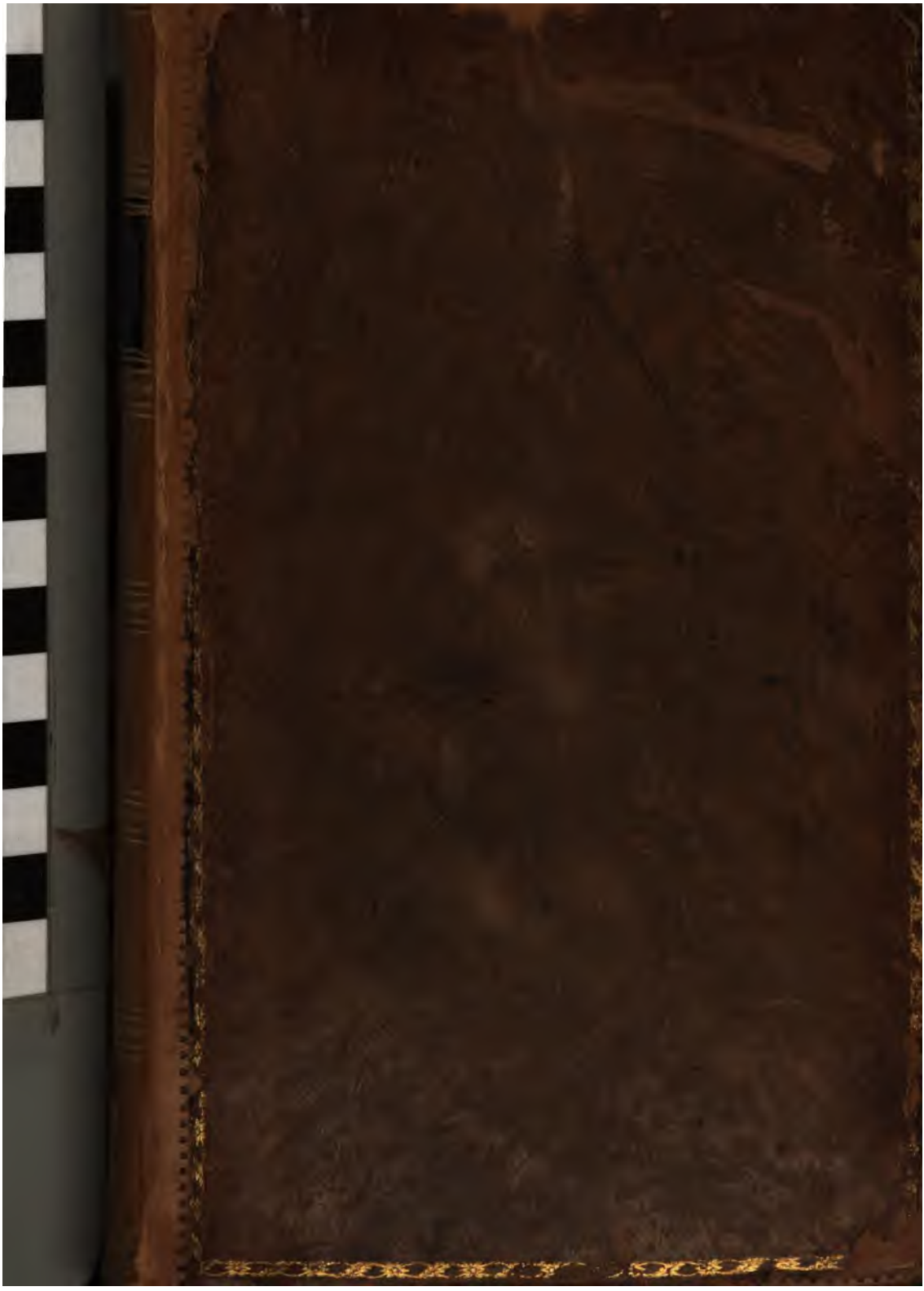
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

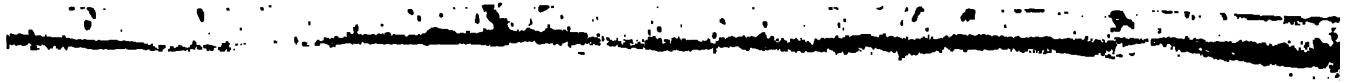


600050971S

G. 27. b. 9.

E. BIBL. RADCL.

1842 e, 224



Darſtellung
des
Weltſyſtems

durch

Peter Simon La Place

Mitglied des Franzöſiſchen Nationalinſtituts und der Commiſſion wegen der Meereslänge.

Aus dem Franzöſiſchen überſetzt

von

Johann Karl Friedrich Hauff.

Erſter Theil.

Frankfurt am Mayn,
bey Varrentrapp und Wenner.
1797.

Dem Bürger

Karl Friedrich Reinhard

Minister der Französischen Republik in Hamburg und Mitgliede des Französischen Nationalinstituts.

Meinem brüderlichen Freunde

als ein

Denkmal der Achtung und Liebe

gewidmet.

Daſs Sie, mein Theuerſter, es ſeyen, durch deſſen Veranlaſſung und Aufmunterung ich zur Ueberſetzung des gegenwärtigen Werks beſtimmt wurde, halte ich für meine Pflicht, hier öffentlich zu ſagen, damit auf der einen Seite unſer teutſches Vaterland es wiſſe, wem es die Vortheile, welche von der Ausbreitung deſſelben für die Aſtronomie und Naturlehre zu hoffen

ſind, zu danken habe, und damit auch auf der andern Seite der Verfaſſer, Ihr College, wenn er ſich dieſer Erweiterung ſeiner Wirkſamkeit freut, es wiſſe, wer ihm eigentlich dieſe Freude bereitet habe.

Ich gebe Ihnen hier das Werk, wovon ich das Original als ein Geſchenk Ihrer Güte beſitze, im teutſchen Gewande zu-

rück; und ich werde für meine Bemühung doppelt belohnt ſeyn, wenn Ihr Urtheil mir ſagen wird, daſs der Stoff dieſes Gewands eine Vergleichung mit dem des Originals eben ſo wenig zu ſcheuen brauche, als ich dieſes von der äuſsern Form deſſelben glaube hoffen zu dürfen. Dreymal glücklich würde ich ſeyn, wenn Sie dieſe Arbeit, als eine gelungene Frucht

6000050971S

G. 27. B. 9.

E. BIBL. RADCL.

1842 e. 224

Nachricht des Uebersetzers.

La Place's *ausgezeichnete Verdienste um die Physik sowohl, als um die Astronomie, und die Achtung, welche er sich dadurch bey den Verehrern dieser Wissenschaften längst erworben hat, überheben mich der Mühe, erst umständlich zu zeigen, dass das gegenwärtige Werk verdient habe, durch eine Uebersetzung auch in Teutschland bekannter gemacht zu werden.*

Ob diese *Uebersetzung dem teutschen Leser die Stelle des Originals vertreten könne, darüber habe ich keine Stimme.*

Aber eine vorläufige Nachricht von dem, was er in dieſem Werke, ſowohl von der Seite des Verfaſſers, als von der meinigen, zu erwarten habe, kann dieſer von mir fordern. Darauf ſoll ſich alſo auch alles einſchränken, was ich hier davon ſagen werde.

La Place *ſagt ſelbſt, daſs er bey dieſem Werke die gedoppelte Abſicht gehabt habe, die ganze Reihe der aſtronomiſchen Entdeckungen, vom Urſprunge der Wiſſenſchaft an bis auf unſere Zeit, in einem ſyſtematiſchen Zuſammenhange aufzuſtellen, und zugleich die wahre Methode zur Entdeckung der Naturgeſetze anzugeben.*

Was nun das erſte betrift, ſo erwarte man hier ja kein Syſtem der Aſtronomie, wie uns unſere Landsleute Wolf *und* Weidler

gegeben haben, worin der Leſer von den erſten Elementen bis an die entfernteſte Grenze der Wiſſenſchaft, nach ihrem damaligen Zuſtande, auf dem hevriſtiſchen Wege fortgeführt wird, — dergleichen Syſteme kann man, aus bekannten Urſachen, nur von Teutſchen aufweiſen, — ſondern La Place *ſtellt das Syſtem der Aſtronomie ſo dar, wie es ſich nur im Kopfe des vollendeten Naturforſchers und Geometers, dem, bey jedem Schritte, Phyſik, Geometrie und Analyſis in ihrem ganzen Umfange, und in ihrer ganzen jetzigen Vollkommenheit zu Gebote ſtehen, bilden kann. Wenn daher von der Brauchbarkeit dieſes Werks für die erſten Anfänger die Frage iſt, ſo kann ich davon nichts anders ſagen, als was* Keill (*Introd. ad veram Phyſ. et Aſtron. Praef. Aſtr. p. 223.*) *von dem Werke ſeines Lehrers* Gregory *geſagt hat:*

„Fatendum eſt, opus hoc minus videri ad diſcentium captum accommodatum; multa enim complectitur, quae reconditioris Geometriae cognitionem poſtulant, qualem in tironibus raro reperire licet.“

Was das zweyte betrift, ſo erwarte man nicht, daſs La Place, *etwa in einem beſondern Theile ſeines Werks,* ex profeſſo *eine Anleitung zur Naturphiloſophie, und Regeln für die Methode derſelben gebe, wie wir ſolche von* Baco, Newton, Bergmann, Lambert, Carrard *und* Senebier *in groſser Vollſtändigkeit haben; ſondern er giebt blos gelegentlich einzelne Winke dazu, die aber von der Hand eines ſolchen Meiſters immer lehrreich und ſchätzbar ſind.*

In dieſer Ueberſetzung habe ich mich bemühet, die Gedanken des Verfaſſers ſo treu, als möglich, darzuſtellen. Weil ich es in den erſten Kapiteln nicht für unmöglich hielt, das Werk, durch Anmerkungen und Zuſätze, auch dem erſten Anfänger verſtändlich zu machen, ſo fieng ich an, nach dieſem Plane zu arbeiten. Da ich aber beym weitern Verfolge bald fand, daſs dieſs nicht ſelten mehr Noten als Text erfordern würde, ſo fand ich für beſſer, mich vor der Hand auf die bloſſe Ueberſetzung einzuſchränken, und nun das Urtheil des Publikums, und beſonders competenter Richter darüber entſcheiden zu laſſen, ob ich künftig noch, entweder als einen Anhang zum zweyten Theile, oder in einem eigenen Bande, Erläuterungen zu dem Werke liefern, und was für einen Umfang ich dieſen geben ſoll.

Aus dieſem Geſichtspunkte bitte ich alſo die wenigen Anmerkungen, die ich den erſten Kapiteln beygeſetzt habe, zu betrachten.

Bey der Anmerkung auf der 48ten Seite glaubte ich in der Urſchrift einen Druckfehler vorausſetzen zu müſſen; denn die Stelle kann ſo, wie ſie da ſteht, nicht von LA PLACE *herrühren.*

Der zweyte und letzte Band der Ueberſetzung wird künftige Herbſtmeſſe erſcheinen.

Marburg,
in der Oſtermeſſe
1797.

JOHANN KARL FRIEDRICH HAUFF,
Profeſſor der Mathematik und Phyſik.

Inhalt.

Seite

Einleitung. - - - - - - 1

Erſtes Buch.

Von den ſcheinbaren Bewegungen der Himmelskörper. - - - - - 3

1. Kap. Von der täglichen Bewegung des Himmels. 3
2. — Von der Sonne und ihrer eigenen Bewegung. - - - - 8
3. — Von der Zeit und ihrem Maaſse. - 30
4. — Von der Bewegung des Monds, von ſeinen Lichtgeſtalten und den Finſterniſſen. 40
5. — Von den Planeten und insbeſondere von dem Merkur und der Venus. - 65
6. — Vom Mars. - - - - 73
7. — Vom Jupiter und von ſeinen Trabanten. 75
8. — Vom Saturn, von ſeinen Trabanten und ſeinem Ringe. - - - 82
9. — Vom Uranus und von ſeinen Trabanten. 88
10. — Von den Kometen. - - 90
11. — Von den Fixſternen und ihren Bewegungen. - - - - 91
12. — Von der Geſtalt der Erde und der Veränderung der Schwere auf ihrer Oberfläche. - - - - 104
13. — Von der Ebbe und Fluth des Meeres. 144
14. — Von der Atmosphäre der Erde und den aſtronomiſchen Stralenbrechungen. - 156

Zweytes Buch.

Seite

Von den wahren Bewegungen der Himmelskörper. - - - 186
1. Kap. Von der Umdrehungsbewegung der Erde. 187
2. — Von der Bewegung der Planeten um die Sonne. - - - 193
3. — Von der Bewegung der Erde um die Sonne. 198
4. — Von den Erscheinungen, die die Bewegungen der Erde verursachen. - 210
5. — Von der Gestalt der Planetenbahnen, und den Gesezen ihrer Bewegung um die Sonne. - - - 218
Tafel der elliptischen Bewegung der Planeten. - - - 229
6. — Von der Gestalt der Kometenbahnen, und den Gesezen ihrer Bewegung um die Sonne. - - - 233
7. — Von den Bewegungsgesezen der Trabanten um ihre Planeten. - - 246

Drittes Buch.

Von den Gesezen der Bewegung. - 263
1. Kap. Von den Kräften und ihrer Zusammensezung. - - - 264
2. — Von der Bewegung eines materiellen Punkts. - - - 269
3. — Vom Gleichgewichte eines Systems von Körpern. - - - 303
4. — Vom Gleichgewichte flüssiger Körper. 321
5. — Von der Bewegung eines Systems von Körpern. - - - 330

Darstellung des Weltsystems.

Me vero primum dulces ante omnia Musae,
Quarum sacra fero, ingenti perculsus amore,
Accipiant, coelique vias et sidera monstrent.

VIRGIL. *Georg. L. II.*

Unter allen Naturwissenschaften ist die Astronomie diejenige, welche die längste Reihe von Entdeckungen darbietet. Es ist äuſserst weit von dem ersten Anblicke des Himmels bis zu der allgemeinen Uebersicht, wodurch man heutzutage die vergangenen und künftigen Zustände des Weltsystems umfaſst. Um dazu zu gelangen, muſste man die Gestirne eine groſse Anzahl Jahrhunderte hindurch beobachten, in ihren Erscheinungen die wahren Bewegungen der Erde kennen lernen, zu den Bewegungsgesetzen der Planeten, und von diesen Gesetzen zu dem Grundsatze der

allgemeinen Schwere sich erheben; endlich von diesem Grundsatze zur vollständigen Erklärung aller himmlischen Erscheinungen, bis auf ihre kleinsten Umstände, wieder herabsteigen.

Dieſs ist's, was der menschliche Geist in der Astronomie gethan hat. Die Darstellung dieser Entdeckungen und des einfachsten Weges, auf welchem eine zur andern führen konnte, wird den doppelten Nutzen haben, einmal eine groſse Sammlung wichtiger Wahrheiten aufzustellen, und dann die wahre Methode anzugeben, welche man bey Erforschung der Naturgesetze befolgen muſs.

Und dieſs ist der Zweck, den ich mir bey diesem Werke vorgesetzt habe.

Erstes Buch.

Von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper.

Erstes Kapitel.

Von der täglichen Bewegung des Himmels.

Wenn man in einer heitern Nacht, und an einem Orte, wo man einen freyen Horizont hat, das Schauspiel des Himmels mit Aufmerksamkeit verfolgt, so sieht man solches jeden Augenblick sich ändern. Die Sterne steigen über, oder sinken unter den Horizont; einige erscheinen an der Morgenseite, andere verschwinden an der Abendseite; mehrere, wie z. B. der Polarstern und die Sterne des grofsen Bären erreichen niemals den Horizont. Bey diesen verschiedenen Bewegungen ändern sie doch ihre Lage gegen einander nicht. Sie beschreiben Kreise, die um desto kleiner sind, je näher sie einem Punkte liegen, den man

als unbeweglich gedenkt. So scheint der Himmel sich um zwey veste Punkte zu drehen, die man aus diesem Grunde *Weltpole* nennt, und auf dieser Bewegung beruhet das System der Gestirne.

Der über unsern Horizont erhabene heifst der *Nordpol*, der entgegengesetzte, den man unter dem Horizonte gedenkt, der *Südpol*.

Dabey bieten sich nun schon verschiedene hebliche Fragen zur Beantwortung dar. sind die Sterne, die wir bey Nacht Tag über? Woher kommen sie, wenn erscheinen anfangen? Wohin gehen sie, che verschwinden? Die Betrachtung der Erscheinungen selbst giebt Antworten auf diese Fragen. Des Morgens wird das Licht der Sterne dem Maafse schwächer, als die Dämmerung zunimmt; des Abends werden sie in gleichem Maafse glänzender, als die Dämmerung abnimmt. Also nicht die Sterne selbst leuchten, sondern nur das schwächere Licht der Dämmerung wird durch sie dunkelt werden, und wenn sie aufhören, sie gewissermaafsen

Die glückliche Erfindung des Teleskops hat uns in den Stand gesetzt, diese Erklärung zu bestätigen, indem sie uns die Sterne, selbst in dem Augenblicke, da die Sonne am höchsten steht, sehen läfst. Diejenigen, welche dem Pole nahe genug stehen, um den Horizont nie zu erreichen, erscheinen beständig über demselben. In Absicht auf diejenigen hingegen, welche an der Morgenseite anfangen sich zu zeigen, um an der Abendseite zu verschwinden, ist es natürlich zu denken, dafs sie unter dem Horizonte den Kreis zu beschreiben fortfahren, welchen sie über demselben zu durchlaufen angefangen haben, und dessen unteren Theil der Horizont uns bedeckt. Von der Richtigkeit dieser Vermuthung kann man sich durch den Augenschein selbst überzeugen, wenn man sich nach Norden zu begiebt. Alsdann erheben sich nämlich die Kreise der nach dieser Himmelsgegend zu liegenden Sterne immer mehr und mehr über den Horizont, und diese Sterne selbst hören endlich auf zu verschwinden, während andere, nach Mittag zu liegende, Sterne auf immer unsichtbar werden. Das Gegentheil bemerkt man, wenn man sich gegen Mittag zu begiebt. Sterne, die beständig über dem Horizonte blieben, ge-

hen nun wechselsweise auf und unter, und neue, zuvor unsichtbare, Sterne fangen nun an zu erscheinen. Die Oberfläche der Erde ist also nicht, wie es uns scheint, eine Ebene, auf welcher der Himmel unter der Gestalt eines eingedrückten Gewölbes aufliegt. Diese Täuschung berichtigten die ersten Beobachter schon frühe durch Betrachtungen, wie die vorhergehenden. Sie erkannten bald, dafs der Himmel die Erde von allen Seiten umgiebt, und dafs an demselben die Sterne ohne Unterlafs leuchten, indem sie täglich ihre verschiedenen Kreise beschreiben. Man wird in der Folge die Astronomie noch oft mit Berichtigung ähnlicher Täuschungen, und mit Aussonderung des Reellen an den Gegenständen aus den trüglichen Erscheinungen derselben beschäftiget finden.

Um sich eine genaue Vorstellung von der Bewegung der Gestirne zu machen, gedenkt man sich durch den Mittelpunkt der Erde und durch die beyden Weltpole eine gerade Linie, welche man die *Weltachse* nennt, und um welche die Himmelskugel sich drehet. Der gröfste Kreis dieser Kugel, auf welchem diese Achse lothrecht stehet, heifst der *Aequator*. Die kleineren Kreise, welche die Sterne, vermöge

ihrer täglichen Bewegung, in paralleler Richtung mit dem Aequator beschreiben, nennt man schlechtweg *Parallele*. Das *Zenith* eines Beobachters ist der Punkt des Himmels, den seine Scheitellinie trifft. Das *Nadir* ist der gerade entgegengesetzte Punkt. Der gröfste Kreis, der durch das Zenith und die Pole geht, ist der *Meridian*; er halbirt die Kreisbogen, welche die Sterne über dem Horizonte beschreiben; und wenn sie ihn erreichen, so stehen sie in ihrer gröfsten oder kleinsten Höhe. Endlich ist der *Horizont* der gröfste Kreis, auf welchem die Scheitellinie lothrecht steht, oder welcher der Ebene parallel ist, die die Oberfläche des stehenden Wassers an dem Orte des Beobachters berührt.

Die Polhöhe hält das Mittel zwischen der gröfsten und der kleinsten Höhe eines von den Sternen, die niemals untergehen, welches ein leichtes Mittel, sie zu bestimmen, abgiebt. Wenn man nun gerade gegen den Pol zu fortgeht, so findet man die Zunahme seiner Erhebung dem durchloffenen Raume sehr nahe proportionirt. Die Oberfläche der Erde ist also eine krumme Fläche, und ihre Gestalt weicht von der einen Kugel nur wenig ab. Die Krümmung der Erdkugel ist auf der Oberfläche

des Meeres merklich; denn der Schiffer, der sich den Ufern nähert, wird zuerst die höchsten Punkte derselben gewahr, und entdeckt erst in der Folge allmählig die tiefer liegenden Theile, welche die Erhöhung der Erde seinem Anblicke entzog. Von dieser Krümmung ist es ferner eine Folge, dafs die Sonne bey ihrem Aufgange die Spitzen der Berge vergoldet, ehe sie die Ebenen erleuchtet.

Zweytes Kapitel.

Von der Sonne und ihrer eigenen Bewegung.

Alle Gestirne nehmen an der täglichen Bewegung der Himmelskugel Theil, aber mehrere haben eigene Bewegungen, welche zu verfolgen der Mühe werth ist, weil sie allein uns zur Kenntnifs des Weltsystems führen können.

Wie man, um die Entfernung eines Gegenstandes zu messen, denselben aus zwey verschiedenen Standpunkten beobachtet, eben so mufs man, um die Naturgesetze zu entdecken, die Natur unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachten, und die Entwickelung dieser Gesetze in den Veränderungen des Schauspiels,

welches sie uns darbietet, beobachten. Auf der Erde bewirken wir Veränderungen in den Erscheinungen durch Versuche, am Himmel bestimmen wir sorgfältig alle die, welche die himmlischen Bewegungen uns darbieten. Indem wir so die Natur fragen, und ihre Antworten der Analyse unterwerfen, können wir durch eine Reihe von Schlüssen und wohl angebrachten Inductionen uns zu den Ursachen der Erscheinungen erheben, d. h. sie auf allgemeine Gesetze, woraus alle besonderen Erscheinungen sich ableiten lassen, zurückführen. Und eben auf die Entdeckung dieser Gesetze, und die Zurückführung derselben auf die kleinste mögliche Anzahl müssen unsere Bemühungen gerichtet seyn; denn die ersten Ursachen und die innere Natur der Dinge werden uns ewig verborgen bleiben.

Unter allen Sternen, die uns eigene Bewegungen zu haben scheinen, ist die Sonne der merkwürdigste. Ihre eigene Bewegung in einer der täglichen Bewegung entgegengesetzten Richtung, oder von Abend nach Morgen, erkennt man leicht durch die Ansicht des nächtlichen Himmels, eine Ansicht, die sich mit den Jahrszeiten ändert und wieder erneuert. Die auf dem Wege der Sonne liegen-

den Sterne, die kurz nach ihr untergehen, verlieren sich bald darauf in ihrem Glanze, und erscheinen in der Folge wieder vor ihrem Aufgange. Die Sonne rückt also gegen sie fort in einer Richtung, die der ihrer täglichen Bewegung entgegengesetzt ist. So hat man ihre eigene Bewegung lange verfolgt; heutzutage aber bestimmt man diese Bewegung mit einer grofsen Genauigkeit, indem man täglich die Mittagshöhe der Sonne und die Zeit beobachtet, die zwischen ihrem und der Sterne Durchgange durch den Meridian verstreicht. Man hat auf solche Art die eigenen Bewegungen der Sonne in der Richtung des Meridians und in der Richtung der Parallelen; und wenn man diese zusammensetzt, so giebt das Resultat davon ihre wahre Bewegung. Durch dieses Verfahren hat man gefunden, dafs die Sonne sich in einer Bahn bewegt, welche um den Anfang des Jahrs 1750. um 26°,0796 gegen den Aequator geneigt war, und welche man die *Ekliptik* genannt hat.

Eine Folge von der Verbindung der eigenen Bewegung der Sonne mit ihrer täglichen Bewegung ist der Unterschied der Jahrszeiten. *Nachtgleichen* nennt man die Durchschnittspunkte der Ekliptik und des Aequators. In

der That ist, da die Sonne in diesen beyden Punkten, vermöge ihrer täglichen Bewegung den Aequator beschreibt, und dieser Kreis durch alle Horizonte halbirt wird, alsdann auf der ganzen Erde Tag und Nacht gleich. In dem Maafse, wie die Sonne, nach der Frühlings-Nachtgleiche, in ihrer Bahn fortrückt, wachsen auch ihre Mittagshöhen über unserm Horizonte immer mehr und mehr; der sichtbare Bogen der Parallelen, die sie täglich beschreibt, wächst ununterbrochen, und verlängert die Dauer der Tage, bis die Sonne ihre gröfste Höhe erreicht. In diese Zeit fällt der längste Tag des Jahrs; und da gegen das *Maximum* zu die Veränderungen der Mittagshöhe der Sonne unmerklich sind, so scheint die Sonne, wenn man blofs auf diese Höhe sieht, von welcher die Länge des Tages abhängt, ganz stille zu stehen. Und diefs ist's eben, was die Veranlassung gegeben hat, diesen Punkt des Maximums *Sonnenstillstand des Sommers* zu nennen. Der Parallel, den die Sonne alsdann beschreibt, ist der *Wendekreis des Sommers*. In der Folge steigt dieses Gestirn wieder gegen den Aequator herab, den es in der *Herbstnachtgleiche* aufs neue durchschneidet, und von da an gelangt es zu seiner kleinsten Höhe,

oder zum *Sonnenstillstand des Winters.* Der Parallel, den die Sonne alsdann beschreibt, ist der *Wendekreis des Winters*, und der Tag der kürzeste des Jahrs. Hat die Sonne diese Gränze erreicht, so steigt sie wieder gegen den Aequator auf, und gelangt wieder zur Frühlingsnachtgleiche.

Dieſs ist der beständige Gang der Sonne und der Jahrszeiten. Der *Frühling* ist die Zeit zwischen der Frühlingsnachtgleiche und dem Sommerstillstande der Sonne; die Zeit zwischen diesem Sommerstillstande und der Herbstnachtgleiche macht den *Sommer.* Den *Herbst* macht die Zeit von der Herbtsnachtgleiche bis zum Winterstillstande der Sonne; endlich ist der *Winter* die Zeit vom Winterstillstande der Sonne bis zur Frühlingsnachtgleiche.

Da die Gegenwart der Sonne über dem Horizonte die Ursache der Wärme ist, so scheint es, die Temperatur sollte im Sommer die nämliche, wie im Frühlinge, und im Winter die nämliche, wie im Herbste, seyn. Aber die Temperatur ist nicht eine augenblickliche Wirkung von der Gegenwart der Sonne: sie ist das Resultat ihrer lange fortgesetzten Wirksamkeit; sie erreicht daher ihr Maximum am

einzelnen Tage erst nach der gröſsten Höhe dieses Gestirns über dem Horizonte, und im ganzen Jahre, erst nach der gröſsten Stillstandshöhe der Sonne.

Der Unterschied der Polhöhen in den verschiedenen Klimaten bringt in den Jahrszeiten merkwürdige Veränderungen hervor, die wir vom Aequator bis zu den Polen verfolgen wollen. Unter dem Aequator sind die Pole im Horizonte, welcher alsdann alle Parallelen halbirt; der Tag ist also daselbst der Nacht beständig gleich. In den Nachtgleichen kömmt die Sonne des Mittags an das Zenith. In den Sonnenstillständen sind die Mittagshöhen dieses Gestirns am kleinsten, und dem Complemente der Neigung der Ekliptik gegen den Aequator gleich. Die Sonnenschatten haben in diesen zwey Lagen der Sonne entgegengesetzte Richtungen, was in unsern Klimaten nicht geschiehet, wo sie des Mittags immer gegen Norden gerichtet sind. Man hat daher unter dem Aequator, eigentlich zu reden, jedes Jahr zwey Winter und zwey Sommer. Das nämliche findet in allen Ländern Statt, wo die Polhöhe kleiner ist, als die Schiefe der Ekliptik. Weiter hin hat man nur *einen* Winter und *einen* Sommer im Jahre: die Sonne kommt

niemals an, das Zenith; der längste Tag des Sommers nimmt zu und der kürzeste des Winters nimmt ab, in dem Maaſse, als man sich dem Pole nähert; und wenn das Zenith nur noch um einen der Schiefe der Ekliptik gleichen Winkel davon entfernt ist, so geht die Sonne im Sommerstillstande nicht unter, und im Winterstillstande nicht auf. Noch näher bey dem Pole übersteigt die Zeit ihres Aufenthalts über und unter dem Horizonte gegen die Sonnenstillstände mehrere Tage und sogar mehrere Monate. Unter dem Pole endlich, wo der Horizont der Aequator selbst ist, ist die Sonne beständig über demselben, wenn sie mit dem Pole auf der nämlichen, und beständig unter demselben, wenn sie auf der andern Seite des Aequators ist; man hat daher das ganze Jahr durch nur *einen* Tag und *eine* Nacht.

Die Zwischenzeiten zwischen den Nachtgleichen und den Sonnenstillständen sind nicht gleich; die Zeit von der Frühlingsnachtgleiche zur Herbstnachtgleiche ist ohngefähr um sieben Tage länger, als die von der letztern zur erstern; die eigene Bewegung der Sonne ist also nicht gleichförmig. Durch genaue und vielfältige Beobachtungen hat man gefunden,

dafs sie in einem gegen den Winterstillstand zu gelegenen Punkte der Sonnenbahn am geschwindesten, und in dem entgegengesetzten Punkte, gegen den Sommerstillstand zu, am langsamsten ist. In jenem beschreibt die Sonne täglich 1°,1327, in diesem nur 1°,0591; ihre tägliche Bewegung ändert sich also im Verlaufe eines Jahrs vom Mehreren zum Minderen um 736 Zehntausendtheile ihres mittleren Werths.

Um das Gesetz dieser Veränderung, und das Gesetz aller periodischen Ungleichheiten überhaupt zu erhalten, hat man bemerkt, dafs die Sinus und Cosinus der Winkel, da sie für jeden Bogen, um welchen diese Winkel wachsen, immer wieder die nämlichen werden, zur Darstellung dieser Ungleichheiten geschickt sind. Man hat daher auf solche Art alle Ungleichheiten der himmlischen Bewegungen ausgedrückt, und nachdem die Beobachtung sie bestättiget hatte, so hatte man dabey weiter keine Schwierigkeit, als diese Ungleichheiten von einander zu unterscheiden, und die Winkel, von welchen sie abhangen, zu bestimmen. So hat man gefunden, dafs die Veränderung der Winkelgeschwindigkeit der Sonne dem Cosinus des mittleren Winkelab-

standes derselben von dem Punkte ihrer Bahn, wo diese Geschwindigkeit am gröfsten ist, sehr nahe proportionirt ist.

Es ist natürlich, zu denken, dafs die Entfernung der Sonne von der Erde veränderlich sey, wie ihre Winkelgeschwindigkeit; den Beweis dafür geben die Messungen ihres scheinbaren Durchmessers, welcher in der nämlichen Zeit und nach dem nämlichen Gesetze, wie diese Geschwindigkeit, aber in einem zweymal kleineren Verhältnisse, wächst und abnimmt. Wenn die Geschwindigkeit am gröfsten ist, so ist der scheinbare Durchmesser 6035″,7; ist aber die Geschwindigkeit am kleinsten, so findet man ihn nur 5836″,3; seine mittlere Gröfse ist also 5936″,0. Er mufs noch um einige Secunden vermindert werden, um ihn von der Wirkung der Irradiation, welche die scheinbaren Durchmesser der Gegenstände ein wenig vergröfsert, zu befreyen.

Da die Entfernung der Sonne von der Erde sich umgekehrt verhält, wie ihr scheinbarer Durchmesser, so folgt ihre Zunahme dem nämlichen Gesetze, wie die Abnahme dieses Durchmessers. Den Punkt der Sonnenbahn, wo die Sonne der Erde am nächsten ist,

nennt

nennt man die *Erdnähe* (das *Perigäum*), und den entgegengesetzten, wo sie am weitesten davon entfernt ist, die *Erdferne* (das *Apogäum*). In dem ersten dieser Punkte hat die Sonne den gröfsten scheinbaren Durchmesser und die gröfste Geschwindigkeit; im andern sind dieser Durchmesser und diese Geschwindigkeit am kleinsten.

Um die scheinbare Bewegung der Sonne zu vermindern, ist es genug, sie von der Erde zu entfernen; wenn aber die Veränderung dieser Bewegung nur diese einzige Ursache hätte, und die wahre Geschwindigkeit der Sonne in ihrer Bahn beständig wäre, so würde ihre scheinbare Geschwindigkeit im nämlichen Verhältnisse, wie ihr scheinbarer Durchmesser abnehmen; sie nimmt aber in einem zweymal gröfseren Verhältnisse ab: es findet also bey der Bewegung der Sonne, wenn sie sich von der Erde entfernt, eine wahre Verminderung Statt. Durch die zusammengesetzte Wirkung dieser Verminderung und der Zunahme der Entfernung nimmt die Winkelbewegung an einem Tage ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt, so dafs ihr Product in dieses Quadrat sehr nahe beständig ist. Alle Messungen des scheinbaren Durchmessers der Sonne,

verglichen mit den Beobachtungen ihrer täglichen Bewegung, bestättigen dieses Resultat.

Gedenken wir uns nun durch die Mittelpunkte der Sonne und der Erde eine gerade Linie, die wir den *Radius Vector* der Sonne nennen wollen, so ist es leicht, einzusehen, dafs der kleine Sector, oder die durch diesen Radius an einem Tage um die Erde beschriebene Fläche dem Producte aus dem Quadrate dieses Radius durch die scheinbare tägliche Bewegung der Sonne proportionirt sey; diese Fläche ist also beständig, und die ganze durch den Radius Vector beschriebene Fläche wächst, wenn man von einem unbeweglichen Radius ausgeht, wie die Zahl der von dem Zeitpunkte an, da die Sonne auf diesem Radius war, verflossenen Tage. Daraus ergiebt sich für die Bewegung der Sonne das merkwürdige Gesetz, dafs *die durch ihren Radius Vector beschriebenen Flächenräume den Zeiten proportionirt sind.*

Wenn man, nach den vorerwähnten Bestimmungsstücken, von Tag zu Tag die Lage und die Länge des Radius Vectors der Sonnenbahn bemerkt, und durch die Endpunkte aller dieser Radien eine krumme Linie zieht: so sieht man, dafs diese krumme Linie nicht genau kreisförmig ist; sondern nach der Rich-

tung der geraden Linie, welche durch den Mittelpunkt der Erde geht, und die Punkte der gröſsten und der kleinsten Entfernung der Sonne mit einander verbindet, sich etwas in die Länge zieht. Die Aehnlichkeit dieser krummen Linie mit der Ellipſe gab Anlaſs, sie mit dieser zu vergleichen, und aus der bemerkten Uebereinstimmung beyder zog man den Schluſs, daſs *die Sonnenbahn eine Ellipse sey, in deren einem Brennpunkte der Mittelpunkt der Erde sich befinde.*

Die *Ellipse* ist eine von den in der älteren und neueren Geometrie berühmten krummen Linien, welche, weil sie durch den Schnitt der Oberfläche des Kegels mit einer Ebene entstehen, den Namen der *Kegelschnitte* erhalten haben. Es ist leicht, sie zu beschreiben, wenn man in zwey unveränderlichen Punkten, die man *Brennpunkte* nennt, auf einer Ebene die Enden eines Fadens bevestiget, und einen andern Punkt längst dem Faden so hinführt, daſs er solchen beständig anspannt. Die durch den Punkt bey dieser Bewegung beschriebene krumme Linie ist eine Ellipse. Sie zieht sich sichtbar in die Länge nach der Richtung der geraden Linie, welche die Brennpunkte verbindet, und auf beyden Seiten bis an die

hrumme Linie verlängert, die *grofse Achse* bildet, die mit dem Faden einerley Länge hat. Die grofse Achse theilt die Ellipse in zwey gleiche und ähnliche Theile. Die *kleine Achse* ist die gerade Linie, welche im Mittelpunkte auf der grofsen Achse lothrecht errichtet, und auf beyden Seiten bis an die krumme Linie verlängert wird. Der Abstand des Mittelpunkts von einem der Brennpunkte ist die *Excentricität* der Ellipse. Wenn die zwey Brennpunkte in einen Punkt zusammenfallen, so ist die Ellipse ein Kreis; entfernt man sie von einander, so verlängert sie sich immer mehr und mehr, und wenn ihr Abstand von einander unendlich wird, aber die Entfernung des Brennpunkts vom nächsten Scheitelpunkt der krummen Linie endlich bleibt, so wird die Ellipse eine *Parabel.*

Die Sonnenellipse ist von einem Kreise wenig unterschieden, denn ihre Excentricität ist offenbar der Ueberschufs der gröfsten Entfernung der Sonne von der Erde über die mittlere, welcher, wie wir gesehen haben, 168 Zehntausendtheile dieser Entfernung beträgt. Die Beobachtungen scheinen bey dieser Excentricität eine Abnahme anzuzeigen, die aber

sehr langsam, und nach Verlauf eines Jahrhunderts kaum merklich ist.

Um eine richtige Vorstellung von der elliptischen Bewegung der Sonne zu bekommen, wollen wir uns einen Punkt gedenken, der sich gleichförmig in einem Umkreise bewegt, dessen Mittelpunkt der der Erde, und dessen Halbmesser dem Abstande der Sonne in der Erdnähe gleich ist. Wir wollen ferner setzen, dieser Punkt gehe mit der Sonne zugleich von der Erdnähe aus, und die Winkelbewegung des Punkts sey der mittleren Winkelbewegung der Sonne gleich. Während nun der Radius Vector des Punkts sich gleichförmig um die Erde bewegt, bewegt sich der Radius Vector der Sonne auf eine ungleiche Art, indem er immer mit dem Abstande in der Erdnähe und den Bogen der Ellipse Sectoren beschreibt, die den Zeiten proportionirt sind. Er eilt anfangs dem Radius Vector des Punkts vor, und macht mit ihm einen Winkel, welcher, nachdem er bis auf eine gewisse Gränze zugenommen hat, abnimmt, und wieder ganz verschwindet, wenn die Sonne in ihrer Erdferne ist. Alsdann fallen die beyden Radii Vectores mit der grosen Achse zusammen. In der zweyten Hälfte der Ellipse eilt der Ra-

den beyden Endpunkten einer bekannten Standlinie aus die Winkel, welche die Gesichtslinien nach dem Gegenstande mit dieser machen, und indem man deren Summe von zwey rechten Winkeln abzieht, erhält man den von diesen Gesichtslinien in dem Punkte, wo sie zusammentreffen, eingeschlossenen Winkel. Diesen Winkel nennt man die *Parallaxe* des Gegenstandes, dessen Abstand von den Endpunkten der Standlinie alsdann leicht daraus gefunden wird. Wendet man diese Methode auf die Sonne an, so muſs man die längste Standlinie wählen, die man auf der Erde haben kann. Gedenken wir uns zwey Beobachter unter dem nämlichen Meridiane, die im nämlichen Augenblicke die Mittagshöhe des Mittelpunkts der Sonne und ihre Entfernung vom nämlichen Pole beobachten, so wird der Unterschied der zwey beobachteten Entfernungen der Winkel seyn, unter welchem man die gerade Linie, welche die Standpunkte der beyden Beobachter verbindet, aus dem Mittelpunkte der Sonne sehen würde. Der Stand der Beobachter giebt diese Linie in Theilen des Erdhalbmessers; es ist daher leicht, aus diesen Beobachtungen den Winkel herzuleiten, unter welchem man vom Mittel-

punkte der Sonne aus den Erdhalbmesser sehen würde. Dieser Winkel ist die *Sonnenparallaxe*; er ist aber zu klein, als dafs er durch dieses Verfahren mit Genauigkeit bestimmt werden könnte, welches uns nur zu dem Urtheile führen kann, dafs dieses Gestirn zum wenigsten sechstausend Erddurchmesser entfernt sey.

Wir werden in der Folge die astronomischen Entdeckungen viel genauere Mittel zur Bestimmung der Sonnenparallaxe darbieten sehen, von welcher man jetzt weifs, dafs sie bey der mittleren Entfernung der Sonne von der Erde sehr nahe 27″,2 betrage, woraus sich ergiebt, dafs diese Entfernung 23405 Erdhalbmessern gleich sey.

Die Kleinheit der Sonnenparallaxe beweifst uns die unermefsliche Gröfse des Sonnenkörpers. Wir sind versichert, dafs in der nämlichen Entfernung, wo dieses Gestirn unter einem Winkel von 5936″ gesehen wird, die Erde unter einem Winkel von nicht mehr als 100″ erscheinen würde; folglich ist der Rauminhalt (das Volumen) der Sonne, da die Volumina der kugelförmigen Körper den Würfeln ihrer Durchmesser proportionirt sind, zum wenigsten zweymalhunderttausendmal

Bouguer hat durch sorgfältige Versuche über die Stärke des Lichts verschiedener Punkte der Sonnenoberfläche gefunden, daſs dieses Licht um den Mittelpunkt etwas lebhafter ist, als gegen die Ränder zu. Da indessen das nämliche Stück der Sonnenscheibe, wenn es durch die Achsendrehung der Sonne von der Gegend des Mittelpunkts nach den Rändern zu geführt wird, daselbst unter einem viel kleinern Winkel erscheint, so müſste sein Licht viel stärker seyn. Es muſs also groſsen Theils verlohren gehen, was sich nicht erklären läſst, ohne die Voraussetzung, daſs die Sonne mit einer dicken Atmosphäre umgeben sey, welche, da sie durch die von den Rändern ausgehenden Strahlen schief durchschnitten wird, diese mehr schwächt, als die aus dem Mittelpunkte kommenden, die sie in lothrechter Richtung durchschneiden. Diese Erscheinung läſst also mit groſser Wahrscheinlichkeit auf eine Sonnenatmosphäre schlieſsen.

Sie ist es auch nach der allgemeinsten Meynung, welche uns das schwache, hauptsächlich um die Frühlingsnachtgleiche, etwas vor dem Aufgange, oder nach dem Untergange der Sonne, sichtbare Licht, dem man den Namen des *Zodiakallichts* gegeben hat,

zurücksendet. Die Flüssigkeit, die uns dieses zuschickt, ist äusserst fein, da man durch sie die Sterne sieht. Seine Farbe ist weifs, und seine scheinbare Gestalt die eines zugespitzten Streifens, dessen breiteres Ende an der Sonne liegt. So würde man ein Ellipsoid von einer sehr abgeplatteten Umdrehung sehen, das mit der Sonne den Mittelpunkt und die Ebene des Aequators gemein hätte. Die Länge des Zodiakallichts erschien zuweilen unter einem Winkel von mehr als 100 Graden. Man wird aber in der Folge sehen, dafs die Atmosphäre der Sonne sich nicht auf eine so grofse Weite erstrecke; es kann also auch diese Atmosphäre nicht seyn, was uns das Zodiakallicht zusendet.

Dóminicus Cassini, der das Zodiakallicht zuerst beobachtet und beschrieben hat, hat bemerkt, dafs es schwächer werde, wenn die Sonne wenig Flecken hat, und daraus die Vermuthung gezogen, dafs diese Flecken und dieses Licht von einerley Ausströmen, einer Wirkung der ausdehnenden Kraft der Sonne, herrühren, welche die dicke Materie der Flecken auf ihre Oberfläche werfe, die feine und durchsichtige des Zodiakallichts hingegen in die Ferne schleudere. Allein

die wahre Ursache dieses Lichts ist uns noch unbekannt.

Drittes Kapitel.

Von der Zeit und ihrem Maafse.

Die Zeit ist, in Absicht auf uns, der Eindruck, den eine Reihe von Dingen, von welchen wir versichert sind, dafs ihr Daseyn successiv gewesen sey, in dem Gedächtnisse zurückläfst. Ihr eigentliches Maafs ist die Bewegung. Denn da ein Körper nicht an mehrern Orten zugleich seyn kann, so kann er auch nicht von einem Orte zum andern kommen, als dadurch, dafs er nach und nach alle zwischenliegenden Oerter durchläuft. Wenn man versichert ist, dafs er in jedem Punkte der Linie, die er beschreibt, von der nämlichen Kraft getrieben werde, so wird er sie mit einer gleichförmigen Bewegung beschreiben, und die Theile dieser Linie werden der auf ihnen zugebrachten Zeit zum Maafse dienen können. Wenn ein Pendel am Ende einer jeden Schwingung sich unter völlig gleichen Umständen befindet, so wird auch die Dauer dieser Schwingungen die nämliche seyn, und

man wird die Zeit nach ihrer Anzahl messen können. Zu diesem Maafse kann man auch die successiven Umwälzungen der Himmelskugel, bey welchen alles gleich erscheint, gebrauchen; man ist aber allgemein darin übereingekommen, zu dieser Absicht der Bewegung der Sonne sich zu bedienen.

Im bürgerlichen Leben ist der Tag *die Zeit* vom Aufgange der Sonne bis zu ihrem Untergange; die Nacht aber die Zeit des Aufenthalts der Sonne unter dem Horizonte. Der *astronomische Tag* hingegen begreift die ganze Dauer ihres täglichen Umlaufs, d. h. *die Zeit* zwischen zwey auf einander folgenden Mittagen oder Mitternächten. Er übertrift die Dauer einer Umwälzung der Himmelskugel, welche den *Sterntag* ausmacht. Denn wenn die Sonne im nämlichen Augenblicke mit einem Fixsterne durch den Meridian geht, so wird sie den folgenden Tag, vermöge ihrer eigenen Bewegung, nach welcher sie von Abend gegen Morgen fortrückt, später dahin zurückkommen, und in Zeit von einem Jahre wird sie einmal weniger, als der Stern, durch den Meridian gehen. Man findet auf solche Art, dafs, wenn man den mittleren astronomischen Tag für die Einheit

annimmt, die Dauer des Sterntags 0,997269722 dieses Tags betrage.

Die astronomischen Tage sind nicht gleich. Die Ungleichheit der eigenen Bewegung der Sonne und die Schiefe der Ekliptik sind zwey Ursachen, die Ungleichheiten bey derselben bewirken. Die Wirkung der ersten Ursache ist merklich; so nähert sich, um die Zeit des Sommerstillstands der Sonne, gegen welche ihre Bewegung langsamer ist, der astronomische Tag mehr dem Sterntage, als um die Zeit des Winterstillstandes, wo diese Bewegung schneller ist.

Um die Wirkung der zweyten Ursache zu begreifen, muſs man bemerken, daſs der Ueberschuſs des astronomischen Tages über den Sterntag bloſs der eigenen Bewegung der Sonne, auf den Aequator bezogen, zuzuschreiben ist. Wenn man sich durch die Endpunkte des kleinen Bogens, den die Sonne in der Ekliptik an einem Tage durchläuft, und durch die Weltpole zwey gröſste Kreise der Himmelskugel gedenkt, so ist der Bogen des Aequators, den sie abschneiden, die tägliche Bewegung der Sonne, auf den Aequator bezogen, und die Zeit, die dieser Bogen gebraucht, um durch den Meridian zu rücken,

ist

ist der Ueberschuſs des astronomischen über den Sterntag. Nun ist es sichtbar, daſs in den Nachtgleichen der Bogen des Aequators kleiner ist, als der zugehörige Bogen der Ekliptik, in dem Verhältnisse des Cosinus der Schiefe der Ekliptik zum Radius; in den Sonnenstillständen aber gröſser, in dem Verhältnisse des Radius zum Cosinus der nämlichen Schiefe. Der astronomische Tag ist also im ersten Falle kleiner, im andern gröſser.

Um einen mittleren, von diesen Ursachen unabhängigen Tag zu erhalten, gedenkt man sich eine zweyte Sonne, die sich in der Ekliptik gleichförmig bewegt, und die groſse Achse der Sonnenbahn immer in den nämlichen Augenblicken mit der wahren Sonne durchschneidet, wodurch die Ungleichheit der eigenen Bewegung der Sonne aufgehoben wird. Die Wirkung der Schiefe der Ekliptik aber schlieſst man dadurch aus, daſs man sich eine dritte Sonne gedenkt, die in den nämlichen Augenblicken mit der zweyten Sonne durch die Nachtgleichen geht, und sich in dem Aequator so bewegt, daſs die Winkelabstände dieser beyden Sonnen von der Frühlingsnachtgleiche einander beständig gleich sind. Die Zeit zwischen zwey

auf einander folgenden Durchgängen dieser dritten Sonne durch den Meridian giebt den *mittleren astronomischen Tag*. Die *mittlere Zeit* wird nach der Zahl dieser Durchgänge, die *wahre Zeit* aber nach der Zahl der Durchgänge der wahren Sonne durch den Meridian gemessen. Die *Zeitgleichung* ist der Bogen des Aequators zwischen zwey Meridianen, die man durch die Mittelpunkte der wahren und der dritten Sonne legt, nach dem Verhältnisse der ganzen Peripherie für einen Tag auf Zeit gebracht.

Die Zurückkunft der Sonne zur nämlichen Nachtgleiche bestimmt das Jahr, so wie ihre Zurückkunft zum Meridian den Tag. Dieses Gestirn braucht, vermöge seiner mittleren Bewegung 365,242222 Tage, um zur Frühlingsnachtgleiche zurückzukommen, und diese Dauer macht das *tropische Jahr*. Die Beobachtungen haben gelehrt, dafs sie mehr Zeit brauche, um zu den nämlichen Sternen zurückzukommen. Das *Sternjahr* ist die Zeit, von einer solchen Zurückkunft bis zur folgenden, es ist um 0,014162 Tag gröfser, als das tropische Jahr. Die Nachtgleichen haben also in der Ekliptik eine der Bewegung der Sonne entgegengesetzte rückläufige Bewegung,

womit sie jedes Jahr einen der mittleren Bewegung dieses Gestirns gleichen Bogen in Zeit von 0,014162 Tag, und mithin von 155″,09 beschreiben.

Die Bedürfnisse der Gesellschaft haben Anlafs gegeben, verschiedene Abschnitte vestzusetzen, um die Theile der Zeitdauer damit zu messen. Zwey dergleichen merkwürdige bietet die Natur selbst in der Zurückkunft der Sonne zum Meridiane, und zur nämlichen Nachtgleiche dar, aber beyde müssen wieder in mehrere kleinere Abschnitte getheilt werden. Die Eintheilung des Tags in 10 Stunden, der Stunde in 100 Minuten, der Minute in 100 Secunden u. s. w. ist die einfachste. Es ist natürlich, den astronomischen Tag von Mitternacht anfangen zu lassen, um in seiner Dauer die ganze Zeit der Gegenwart der Sonne über dem Horizonte zu begreifen.

Der Anfang des Jahrs wird schicklich in die Frühlingsnachtgleiche, als den Zeitpunkt des Wiederauflebens der Natur, gesetzt. Die Jahrszeiten theilen es in vier Theile, deren jeden man in drey Monate von dreyfsig Tagen getheilt hat. Man hat ferner jeden Monat in drey Perioden von

zehen Tagen, die daher *Decäden* heifsen, getheilt. Auf solche Art besteht das bürgerliche Jahr nur aus 360 Tagen, und man hat doch gesehen, dafs es gröfser, als 365 Tage, ist; die überzähligen Tage müssen ihm also zur Ergänzung angehängt werden. Obgleich in diesem Systeme der Eintheilung des Jahrs die Ordnung der Dinge in Ansehung der Tage der Dekade durch diese Ergänzungstage ein wenig gestört wird, so macht doch die Uebereinstimmung der Dekadentage mit den Monatstagen, und der dekadischen Feste mit den Jahrszeiten, dafs sie dem Gebrauche der kleineren unabhängigen Perioden der Monate, dergleichen die Wochen sind, vorzuziehen ist.

Wenn man die Länge des Jahrs zuf 365 Tage setzte, so würde sein Anfang dem des tropischen ohne Aufhören voreilen, und die Monate würden rückwärts in einer Periode von ungefähr 1520 Jahren die verchiedenen Jahrszeiten durchlaufen. Diese, ehemals in Egypten übliche, Einrichtung benimmt dem Kalender den Vortheil, die Monate und Feste an die Jahrszeiten selbst zu knüpfen, und damit für den Feldbau merkwürdige Epochen zu erhalten. Diesen schätzbaren Vortheil

würde man den Landbewohnern gewinnen, wenn man den Anfang des Jahrs als eine astronomische Erscheinung betrachtete, die man, nach Beobachtung und Rechnung, in die Mitternacht vor der wahren Frühlingsnachtgleiche setzte. Aber alsdann würden die Jahre den Vortheil, regelmäfsige, und in Tage leicht zu zerlegende Zeitperioden zu seyn, verlieren, was über die Geschichte und Chronologie eine Verwirrung verbreiten, und zuweilen den Anfang des Jahrs ungewifs machen könnte, den man immer voraus wissen mufs. Um diesen Unbequemlichkeiten zu begegnen, und die Monate und Feste an die nämlichen Jahrszeiten zu knüpfen, hat man die *Einschaltungen* ausgedacht. Die einfachste von allen ist die, welche die Perser im eilften Jahrhunderte angenommen haben, und welche darin besteht, dafs man siebenmal nach einander alle vier Jahre sechs Ergänzungstage, statt der fünfen, anhängt, das achtemal aber diese Ergänzung übergeht, und sie erst beym fünften Jahre vornimmt. Die auf solche Art ergänzten Jahre hat man *Schaltjahre* genannt, um sie von den übrigen, die den Namen der gemeinen Jahre führen, zu unterscheiden. Nach dieser Ein-

schaltungsart kommen auf 33 Jahre 8 Schaltjahre und 25 gemeine Jahre. Dieſs setzt die Länge des Jahrs von $365\frac{8}{33}$ Tagen voraus, welche um 0,000202 Jahr gröſser ist, als das durch Beobachtungen bestimmte tropische Jahr. Es wäre aber eine groſse Anzahl von Jahrhunderten nöthig, um den Anfang des Jahrs um eine dem Landmanne merkliche Gröſse von der Nachtgleiche zu entfernen.

Es wäre zu wünschen, daſs alle Völker einerley Zeitrechnung, die von moralischen Veränderungen unabhängig, und allein auf astronomische Erscheinungen gegründet wäre, annehmen möchten. Den Anfang könnte man in das Jahr setzen, wo die Erdferne der Sonnenbahn mit dem Sommerstillstande der Sonne zusammenfiele. Dieſs wäre das Jahr 1250. Für diesen Anfang nähme man den Augenblick der mittleren Frühlingsnachtgleiche, welcher in diesem Jahre auf den 15ten Merz um 5,3676 Uhr Pariser Zeit fiel. Der allgemeine Meridian, in welchen man den Anfangspunkt der Längen der Oerter auf der Erde setzte, wäre der Meridian des Orts, welcher im nämlichen Augenblicke Mitternacht hatte, und welcher 185°,2960 ostwärts von Paris liegt. Wenn der Anfang

der Zeitrechnung nach, einer langen Reihe von Jahrhunderten ungewifs würde, so wäre es, wegen der Langsamkeit und der Ungleichheiten der Bewegung der Erdferne, schwer, ihn blos durch diese Bewegung mit Genauigkeit wieder zu finden. Es bliebe aber keine Ungewifsheit über diesen Anfang und über die Lage des allgemeinen Meridians übrig, wenn man sich nur erinnerte, dafs im Augenblicke der mittleren Nachtgleiche die mittlere Länge des Monds $143^{g},7714$ war. So würde man von dem Anfange des Jahrs und dem der Längen der Oerter auf der Erde alles Willkührliche entfernen. Nähme man alsdann noch die vorhin beschriebene Einschaltung und Eintheilung des Jahrs, der Monate und des Tags an, so hätte man den natürlichsten und einfachsten, den Bewohnern dieser Seite des Aequators angemessenen, Kalender.

Aus der Vereinigung von 100 Jahren hat man ein *Jahrhundert* gemacht, welches die gröfste bis jetzt zum Zeitmaafse gebrauchte Periode ist.

Viertes Kapitel.

Von der Bewegung des Monds, von seinen Lichtgestalten und den Finsternissen.

Unter allen Gestirnen ist das, was uns nach der Sonne am meisten interessirt, der Mond, dessen Lichtgestalten eine so merkwürdige Zeitabtheilung darbieten, dafs sie anfänglich bey allen Völkern in Gebrauch kam. Der Mond hat, wie die Sonne, eine eigene Bewegung von Abend nach Morgen. Die Dauer seines Sideralumlaufs war im Anfange des Jahrs 1700 gleich 27,32166118036 Tagen. Sie ist nicht in allen Jahrhunderten einerley; die Vergleichung der neueren Beobachtungen mit den älteren beweifst unwidersprechlich eine Beschleunigung der mittleren Bewegung des Monds. Diese Beschleunigung, die von der ältesten Finsterniſs an, deren Beobachtung auf uns gekommen ist, nur noch wenig merklich ist, wird sich in der Folge der Zeit mehr entdecken. Ob sie aber ohne Aufhören fortwachsen, oder, ob sie einmal stille stehen werde, um in eine Verminderung überzugehen, dieſs können die Beobachtungen erst nach einer grofsen Anzahl von Jahrhunderten ausmitteln. Glücklicher Weise ist die

Entdeckung ihrer Ursache, den letzteren zuvorgekommen, und hat uns gelehrt, dafs sie periodisch ist.

Der Mond bewegt sich in einer elliptischen Bahn, in deren einem Brennpunkte die Erde sich befindet. Sein Radius Vector beschreibt um diesen Punkt Flächen, die den Zeiten sehr nahe proportionirt sind. Nimmt man dieses Gestirns mittlere Entfernung von der Erde für die Einheit an, so ist die Excentricität seiner Ellipse 0,0550368, welches die gröfste Mittelpunktsgleichung 7°,0099 grofs giebt. Die Erdnähe des Monds hat eine rechtläufige*), d. h. in einerley Richtung mit der der Sonne, fortgehende Bewegung, und die Dauer ihres Sideralumlaufs beträgt 3232,46643 Tage.

Diese, den Bewegungsgesetzen der Sonne ähnliche, Gesetze sind noch weit entfernt, die Beobachtungen darzustellen. Die Bewegung des Monds ist einer grofsen Anzahl anderer Ungleichheiten unterworfen, die in

*) Eine Bewegung am Himmel heifst *rechtläufig*, wenn sie der Ordnung der Zeichen der Ekliptik: Widder, Stier etc. etc. folgt, oder, wenn das Gestirn aus dem Widder in den Stier etc. etc. rückt, *rückläufig* hingegen, wenn sie der Ordnung der Zeichen entgegen erfolgt, oder, wenn das Gestirn aus den Fischen in den Wassermann etc. etc. rückt.

sichtbaren Beziehungen mit der Lage der Sonne stehen. Die drey vornehmsten davon sind folgende:

Die beträchtlichste von allen, die man auch zuerst kennen gelernt hat, ist die, welche man die *Evection* nennt. Diese Ungleichheit, die in ihrem Maximum bis auf 1°,4902 steigt, ist dem Sinus des doppelten mittleren Winkelabstands des Monds von der Sonne, weniger des mittleren Winkelabstands des Monds von der Erdnähe seiner Bahn proportionirt. In den Oppositionen und Conjunctionen des Monds mit der Sonne vermischt sie sich mit der Mittelpunktsgleichung, die sie beständig vermindert, und deſswegen fanden die alten Beobachter, die die Elemente der Mondstheorie blos zum Behufe der Finsternisse, und in der Absicht, diese Erscheinungen vorauszusagen, bestimmten, des Monds Mittelpunktsgleichung um die ganze Gröſse der Evection kleiner, als sie in der That ist.

Man beobachtet ferner bey der Bewegung des Monds eine groſse Ungleichheit, welche bey den Conjunctionen und Oppositionen des Monds mit der Sonne, so wie in den Punkten, wo diese Gestirne hundert

Grade von einander entfernt sind, verschwindet. Sie erreicht ihr Maximum, und steigt bis auf 6°,6608, wenn ihre Entfernung von einander fünfzig Grade beträgt. Daraus hat man geschlossen, dafs sie dem Sinus des doppelten mittleren Winkelabstands des Monds von der Sonne proportionirt sey. Diese Ungleichheit, die man die *Variation* nennt, konnte, weil sie bey den Finsternissen verschwindet, durch Beobachtung dieser Erscheinungen nicht bekannt werden.

Endlich wird die Bewegung des Monds beschleunigt, wenn die der Sonne vermindert wird, und umgekehrt. Daraus entspringt eine unter dem Namen der *Jahrsgleichung* bekannte Ungleichheit, deren Gesetz genau dasselbe, wie für die Mittelpunktsgleichung der Sonne, nur mit dem entgegengesetzten Zeichen, ist. Diese Ungleichheit, die in ihrem Maximum 0°,2064 beträgt, vermischt sich bey den Finsternissen mit der Mittelpunktsgleichung der Sonne, und bey der Berechnung des Augenblicks dieser Erscheinungen, ist es gleichgiltig, diese beyden Gleichungen besonders zu betrachten, oder die Jahrsgleichung der Mondstheorie auszuschliessen, um die Mittelpunktsgleichung der Sonne

damit zu vermehren. Dieſs ist eine der Hauptursachen, warum die alten Astronomen dieser letztern Gleichung einen zu groſsen Werth gaben, so wie sie den Werth der Mittelpunktsgleichung des Monds im Verhältnisse der Evection zu klein ansetzten.

Die Mondsbahn ist um 5°,7188 gegen die Fläche der Ekliptik geneigt, ihre Durchschnittspunkte mit dieser, die man *Knoten* nennt, sind nicht veste am Himmel, sondern haben eine rückläufige, der der Sonne entgegengesetzte, Bewegung, die man aus der Folge der Sterne, denen der Mond begegnet, indem er die Ekliptik durchschneidet, leicht kennen lernen kann. Die Dauer des Sideralumlaufs dieser Knoten beträgt 6793,3009 Tage.

Den *aufsteigenden* Knoten nennt man den, von welchem der Mond sich über die Ekliptik gegen den Nordpol zu erhebt; und den *niedersteigenden* den, von welchem er unter dieselbe gegen den Südpol zu sich hinabläſst. Ihre Bewegung ist mehreren Ungleichheiten unterworfen, wovon die gröſste dem Sinus des doppelten Winkelabstands der Sonne von dem aufsteigenden Knoten der Mondsbahn proportionirt ist, und in ihrem

Maximum auf 1°,8105 steigt. Die Neigung der Bahn ist auf gleiche Art veränderlich; ihre gröſste Ungleichheit, die auf 0°,1631 steigt, ist dem Cosinus des nämlichen Winkels, von welchem die Ungleichheit der Bewegung der Knoten abhängt, proportionirt.

Die Mondsbahn hat, so wie die Bahnen der Sonne und aller Himmelskörper, nicht mehr Realität, als die Parabeln, die von geworfenen Körpern über der Oberfläche der Erde beschrieben werden. Um uns die Bewegung eines Körpers im Raume vorzustellen, gedenken wir uns eine Linie durch alle auf einander folgenden Lagen seines Mittelpunkts gezogen. Diese Linie ist seine Bahn, und deren Ebene die, welche durch zwey auf einander folgende Lagen des Körpers und durch den Mittelpunkt geht, um welchen man sich denselben als bewegt vorstellt. Anstatt die Bewegung des Körpers auf diese Art zu betrachten, kann man ihn in Gedanken über einer unbeweglichen Ebene werfen, und die Curve der Wurfbewegung, nebst der Höhe des Körpers über dieser Ebene bestimmen. Jede dieser Methoden hat ihre eigenthümlichen Vorzüge, die, nach Beschaf-

fenheit der Umstände, die eine vor der andern empfehlen.

Des Monds scheinbarer Durchmesser ändert sich auf eine den Veränderungen seiner Bewegung gemäfse Art. Er beträgt 5438″ in der gröfsten, und 6207″ in der kleinsten Entfernung des Monds von der Erde.

Die nämlichen Mittel, denen die Sonnenparallaxe, wegen ihrer Kleinheit, entgieng, haben die Mondsparallaxe in derjenigen Entfernung des Monds von der Erde, die das arithmetische Mittel zwischen der gröfsten und kleinsten ist, 10676″ gleich gegeben. In der nämlichen Entfernung also, in welcher der Mond uns unter einem Winkel von 5823″ erscheint, würde man die Erde unter einem Winkel von 21352″ sehen; ihre Durchmesser stehen also in dem Verhältnisse dieser Zahlen, oder sehr nahe in dem Verhältnisse von 3 zu 11, und der Raumsinhalt der Mondskugel ist 49mal kleiner, als der der Erdkugel.

Die Lichtgestalten (*Phasen*) des Monds sind eine der auffallendsten himmlischen Erscheinungen. Wenn er des Abends aus den Stralen der Sonne hervorkommt, so zeigt er uns einen kleinen Theil seiner erleuchteten

Seite, welcher in eben dem Maafse zunimmt, als er sich von ihr entfernt, und welcher eine ganze Lichtscheibe wird, wenn er mit diesem Gestirne in Opposition kommt.

Wenn er in der Folge sich ihr wieder nähert, so verwandelt sich diese Scheibe in ein Stück einer erleuchteten Kreisfläche mit einer dunkeln Ergänzung (croissant) *), welches eben so stuffenweise, wie es gewachsen war, wiederum abnimmt, bis es sich des Morgens in den Sonnenstralen verliert. Dafs die erleuchtete Seite des Monds beständig gegen die Sonne zu gerichtet ist, ist eine deutliche Anzeige, dafs er sein Licht von ihr entlehnt; und das Gesetz der Veränderung seiner Lichtgestalten, deren Breite sehr nahe in dem Verhältnisse des Sinus Versus seines Winkelabstandes von der Sonne wächst, beweifst uns, dafs er ein sphärischer Körper ist.

Da diese Lichtgestalten sich mit den Conjunctionen erneuern, so hängt ihre Zurück-

*) Sonst heifst bey den französischen Schriftstellern *croissant* nur der *zunehmende Mond*, und *decours* der *abnehmende*. Denn un croissant, qui diminue, wie es hier heifst, ist, genau zu reden, ein *hölzernes Schüreisen*.

kunft von dem Ueberschusse der synodischen Bewegung des Monds über die der Sonne ab, welcher Ueberschuſs die *synodische* Bewegung des Monds genannt wird *). Die Dauer des synodischen Umlaufs dieses Gestirns, oder die Periode seiner mittleren Conjunctionen ist 29,530588 Tage. Sie steht zum tropischen Jahre sehr nahe in dem Verhältnisse von 19 235, d. h. auf 19 Sonnenjahre gehen ohngefähr 235 Mondsmonate.

Die

*) Dieſs ist *Kauderwelsch*. Was soll die synodische Bewegung der Sonne seyn? Wie kann eine Bewegung mit dem Ueberschusse, um welchen sie die Gröſse einer andern Bewegung übertrift, einerley Namen führen? Das Wahre ist: Die Zeit, welche verflieſst, bis der Mond wieder zur Sonne kommt, nachdem er einmal bey ihr gewesen ist, heiſst der *synodische*, und die, welche verflieſst, bis er wieder zum nämlichen Fixsterne zurückkommt, der *periodische* Umlauf des Monds. Die erstere ist gröſser als die letztere, weil, während eines Umlaufs des Monds, die Erde, vom Monde begleitet, in ihrer eigenen Bahn fortrückt, was die Folge hat, daſs der letztere, wenn er wieder beym nämlichen Fixsterne angelangt ist, noch nicht, auch mit der Sonne wieder am nämlichen Orte des Himmels gesehen wird, sondern dazu noch einen Bogen seiner Bahn zurücklegen muſs, zu welchem er über 2 Tage Zeit gebraucht. Der Ueberschuſs seines synodischen Umlaufs über den periodischen ist es also, wovon die Zurückkunft seiner Lichtgestalten abhangt.

Die Syzygien sind die Punkte der Bahn, wo der Mond mit der Sonne in Conjunction oder in Opposition ist. Im ersten Punkte ist der Mond *neu*, im andern *voll*. Die *Quadraturen* sind die Punkte der Bahn, wo der Mond von der Sonne 100 oder 300 Grade, nach der Richtung seiner eigenen Bewegung gerechnet, entfernt ist. In diesen Punkten, die man das *erste* und *letzte Viertel* des Monds nennt, sehen wir sehr nahe die Hälfte seiner erleuchteten Halbkugel. Streng genommen, sehen wir etwas mehr davon; denn wenn genau seine Hälfte uns zu Gesichte kommt, so ist der Winkelabstand des Monds von der Sonne etwas kleiner, als 100 Grade.

In diesem Augenblicke, den man daran erkennt, dafs die Linie, welche die erleuchtete Halbkugel von der dunkeln scheidet, als eine gerade Linie erscheint, ist die Gesichtslinie von dem Beobachter nach dem Mittelpunkte des Monds auf derjenigen lothrecht, welche die Mittelpunkte des Monds und der Sonne verbindet. Demnach ist in dem Dreyecke, das die Linien einschliefsen, die diese Mittelpunkte und das Auge des Beobachters verbinden, der Winkel am Monde ein rechter, der am Auge des Beobachters

aber aus der Beobachtung bekannt; man kann also die Entfernung der Sonne von der Erde in Theilen der Entfernung der Erde vom Monde bestimmen. Die Schwierigkeit, den Augenblick genau anzugeben, wo wir die Hälfte der erleuchteten Mondscheibe sehen, macht diese Methode minder genau; indessen verdankt man ihr doch die ersten richtigen Begriffe, die man von dem unermeſslichen Raumsinhalte der Sonne und ihrer groſsen Entfernung von der Erde erlangt hat.

Die Erklärung der Mondsphasen führt auf die der Finsternisse, die, in den Zeiten der Unwissenheit für die Menschen ein Gegenstand des Schreckens, zu allen Zeiten aber für die Philosophen ein Gegenstand der Forschbegierde waren.

Der Mond kann sich nicht verfinstern, als durch Dazwischenkunft eines dunkeln Körpers, der ihm das Licht der Sonne entzieht, und es ist offenbar, daſs dieser Körper die Erde ist, weil die Mondsfinsternisse niemals, als in ihren Oppositionen, oder, wenn die Erde zwischen dem Monde und der Sonne steht, erfolgen. Die Erdkugel wirft, der Sonne gegenüber, einen Schattenkegel hinter sich, dessen Achse in die gerade Linie fällt, die die

Mittelpunkte der Sonne und der Erde mit einander verbindet, und dessen Spitze in dem Punkte liegt, wo die scheinbaren Durchmesser dieser beyden Körper gleich sind. Diese Durchmesser, aus dem Mittelpunkte des Monds in der Opposition und in seiner mittlaren Entfernung gesehen, sind beyläufig 5920″ für die Sonne, und 21352″ für die Erde; der Schattenkegel der Erde hat also eine Länge, die wenigstens dreymal gröfser ist, als die Entfernung des Monds von der Erde, und seine Breite ist da, wo der Mond ihn durchschneidet, mehr, als das Doppelte vom Durchmesser des Monds. Der Mond würde daher allemal verfinstert werden, so oft er mit der Sonne in Opposition ist, wenn die Ebene seiner Bahn mit der Ekliptik zusammenfiele; aber vermöge der gegenseitigen Neigung dieser Ebenen steht der Mond in seinen Oppositionen oft über oder unter dem Schattenkegel der Erde, und geht nicht durch denselben, als wenn er nahe bey seinen Knoten ist. Tritt seine ganze Scheibe in den Erdschatten ein, so heifst die Mondsfinsterniſs *total*, geht aber diese Scheibe nur zum Theil durch denselben, so heifst sie *partial*; und man begreift nun, daſs die Nähe des Monds

bey seinen Knoten im Augenblicke der Opposition alle Verschiedenheiten, die man bey diesen Finsternissen bemerkt, hervorbringen müsse.

Die mittlere Dauer eines Umlaufs der Sonne in Ansehung des Knotens der Mondsbahn ist 346,61963 Jahre; sie steht zur Dauer eines synodischen Umlaufs des Monds sehr nahe in dem Verhältnisse von 223 zu 19; nach einer Periode von 223 Mondsmonaten befinden sich also die Sonne und der Mond wieder in der nämlichen Lage in Ansehung des Knotens der Mondsbahn; und die Finsternisse müssen folglich ohngefähr in der nämlichen Ordnung zurückkommen. Dieſs giebt ein einfaches Mittel, sie vorauszusagen. Aber die Ungleichheiten der Bewegnngen der Sonne und des Monds müssen darin merkliche Unterschiede hervorbringen, und da ausserdem die Zurückkunft dieser beyden Gestirne zur nämlichen Lage in Ansehung des Knoten in dem Zeitraume von 223 Monaten nicht genau ist, so verändern die daraus entspringenden Abweichungen auf die Länge die Ordnung der in einer dieser Perioden beobachteten Finsternisse.

Die Sonnenfinsternisse beobachten wir nur in den Conjunctionen der Sonne und des

Monds, wenn der letztere zwischen die Sonne und die Erde tritt, und dadurch das Licht der ersteren auffängt. Obschon der Mond unvergleichbar viel kleiner als die Sonne ist, so ist er doch, durch einen merkwürdigen Umstand, der Erde nahe genug, dafs sein scheinbarer Durchmesser von dem der Sonne wenig unterschieden ist; ja es geschieht sogar, nach dem Verhältnisse der Veränderungen dieser Durchmesser, dafs sie sich wechselsweise einander übertreffen. Gedenken wir uns die Mittelpunkte der Sonne und des Monds in *einer* geraden Linie mit dem Auge des Beobachters, so wird er die Sonne verfinstert sehen, und wenn des Monds scheinbarer Durchmesser gröfser, als der der Sonne, ist, so wird die Finsterniſs total seyn; ist aber jener Durchmesser kleiner, so wird der Beobachter einen erleuchteten Ring sehen, den der über die Mondscheibe hervorragende Theil der Sonne bildet, und die Finsterniſs wird *ringförmig* seyn.

Liegt aber des Monds Mittelpunkt nicht in der geraden Linie, die vom Auge des Beobachters nach dem Mittelpunkte der Sonne gehet, so wird der Mond nur einen Theil der Sonnenscheibe verdunkeln können, und

die Finsterniſs wird partial seyn. So müssen also die Verschiedenheiten in den Entfernungen der Sonne und des Monds vom Mittelpunkte der Erde und in der Nähe des Monds bey seinen Knoten im Augenblicke seiner Conjunctionen sehr groſse Unterschiede bey den Sonnenfinsternissen hervorbringen. Zu diesen Ursachen kommt noch die Höhe des Monds über dem Horizonte, welche die Gröſse seines scheinbaren Durchmessers ändert, und, vermittelst der Mondsparallaxe, die scheinbare Entfernung der Mittelpunkte der Sonne und des Monds so verändern kann, daſs von zwey von einander entfernten Beobachtern der eine eine Sonnenfinsterniſs sehen kann, die für den andern nicht Statt findet.

Darin sind also die Sonnenfinsternisse von den Mondsfinsternissen unterschieden, welche allen Oertern der Erde auf gleiche Art erscheinen.

Oft sieht man den Schatten einer von Winden fortgetriebenen Wolke über Anhöhen und Thäler eiligst weglaufen, und den Zuschauern, die er trift, den Anblick der Sonne entziehen, dessen diejenigen geniessen, die ausser seinen Gränzen sich befinden. Dieſs ist ein genaues Bild der totalen Sonnen-

finsternisse. Eine ganz dunkle Nacht, die unter günstigen Umständen über fünf Minuten dauren kann, begleitet diese Finsternisse. Das plötzliche Verschwinden der Sonne und die darauf folgende dicke Finsterniſs erfüllen die Thiere mit Schrecken; die Sterne, die das Tageslicht nicht sichtbar werden lieſs, zeigen sich in ihrem ganzen Glanze, und der Himmel erscheint wie in der schwärzesten Nacht. Man hat um die Mondscheibe einen blassen Lichtring bemerkt, welcher wahrscheinlich die Atmosphäre der Sonne selbst ist, denn seine Ausdehnung kann der des Monds nicht zukommen, und man hat sich durch die Sonnenfinsternisse und Sternbedekkungen versichert, daſs diese letztere Atmosphäre beynahe unmerklich ist.

Die Atmosphäre, die man sich um den Mond vorstellen kann, beugt die Lichtstralen gegen den Mittelpunkt dieses Gestirns zu; und wenn, wie das seyn muſs, die atmosphärischen Schichten in dem Maaſse dünner sind, als sie sich über die Oberfläche des Monds erheben, so beugen sich diese Stralen, nach dem Eingange in dieselbigen, immer mehr und mehr, und beschreiben eine gegen seinen Mittelpunkt zu hohle krumme Linie.

Ein Beobachter auf dem Monde würde demnach nicht aufhören einen Stern zu sehen, als wenn dieser um einen Winkel, den man die *Horizontalrefraction* nennt, unter seinem Horizonte stünde. Die von diesem im Horizonte erscheinenden Sterne ausgehenden Stralen, würden, nachdem sie an der Oberfläche des Monds hingegangen wären, ihren Weg fortsetzen, und eine Curve beschreiben, die derjenigen ähnlich wäre, durch welche sie dahin gelangt wären; daher würde ein zweyter Beobachter, der, in Ansehung des Sterns, hinter dem Monde stünde, ihn, vermöge der Beugung seiner Stralen, in der Atmosphäre des Monds noch sehen. Der Durchmesser des Monds wird durch die Stralenbrechung seiner Atmosphäre nicht merklich vergröfsert; daher wird ein Stern, der vom Monde bedeckt wird, dieses später seyn, als wenn diese Atmosphäre nicht wäre, und aus der nämlichen Ursache wird er auch früher aufhören bedeckt zu seyn, daſs also der Einfluſs der Atmosphäre des Monds hauptsächlich in der Dauer der Sonnenfinsternisse und Sternbedeckungen vom Monde merklich ist. Vielfältige und genaue Beobachtungen haben diesen Einfluſs kaum vermuthen las-

sen, und man hat sich versichert, dafs auf der Oberfläche des Monds die Horizontalrefraction nicht über fünf Secunden betrage.

Wir werden in der Folge sehen, dafs auf der Oberfläche der Erde diese Refraction zum wenigsten tausendmal gröfser ist. Die Atmosphäre des Monds ist also, wenn es eine giebt, äusserst dünne, und in dieser Eigenschaft dem luftleeren Raume, den wir durch unsere besten Luftpumpen hervorbringen können, überlegen. Daraus müssen wir den Schlufs ziehen, dafs kein Thier der Erde auf dem Monde athmen und leben könnte, und dafs, wenn er bewohnt ist, er es nur durch Thiere von anderer Art seyn kann. Die Flüssigkeiten, die durch eine so dünne Atmosphäre nur wenig zusammengedrückt wären, würden sich bald in Dünste auflösen; man hat also Grund zu glauben, dafs auf der Oberfläche des Monds alles vest sey, und diefs scheint durch die Beobachtungen desselben vermittelst grofser Teleskope, die ihn uns als eine trockene Masse zeigen, auf welcher man die Wirkungen und sogar Auswürfe von Vulcanen zu bemerken glaubte, bestättiget zu werden.

Bouguer hat durch Versuche gefunden, dafs das Licht des Vollmonds ohngefähr 300000mal schwächer, als das der Sonne ist. Diefs ist die Ursache, warum dieses Licht, wenn es im Brennpunkte der gröfsten Brennspiegel vereiniget wird, auf das Thermometer keine merkliche Wirkung äussert.

Der Mond verschwindet, bey seinen Verfinsterungen, nicht ganz, sondern ist noch mit einem sehr schwachen Lichte erleuchtet, das er von den Sonnenstralen erhält, die in der Atmosphäre der Erde eine Beugung erlitten haben. Seine Helligkeit würde selbst dann noch lebhafter, als im Vollmonde, seyn, wenn nicht so viele dieser Stralen in unserer Atmosphäre verlohren giengen. Man übersieht leicht, dafs dieses Licht beträchtlicher seyn müsse bey den Finsternissen, die in der Erdferne, als bey denen, die in der Erdnähe einfallen; die Dünste und Wolken können es so sehr schwächen, dafs sie den Mond bey seinen Verfinsterungen ganz unsichtbar machen, und die Geschichte der Astronomie stellt uns einige, obgleich sehr seltene, Beyspiele von einem solchen gänzlichen Verschwinden des Monds auf.

Man unterscheidet noch, besonders bey den Neumonden, den Theil der Mondsfläche, der nicht von der Sonne erleuchtet ist. Dieser blasse Schimmer, den man das *aschfarbige Licht* nennt, kommt von dem Lichte her, das die erleuchtete Halbkugel der Erde dem Monde zuwirft, wie man daraus sieht, dafs er gegen den Neumond zu merklicher ist, wenn ein gröfserer Theil dieser Halbkugel dem Monde zugekehrt ist. In der That übersieht man leicht, dafs die Erde einem Beobachter auf dem Monde ähnliche Phasen, wie der Mond uns, zeigen würde, nur würden diese mit einem, nach dem Verhältnisse der gröfseren Ausdehnung der Erdoberfläche stärkeren, Lichte begleitet seyn.

Die Mondscheibe zeigt eine grofse Anzahl unveränderlicher Flecken, die man sorgfältig beobachtet und beschrieben hat. Diese lehren uns, dafs dieses Gestirn uns fast immer die nämliche Halbkugel zuwende; es dreht sich also in der nämlichen Zeit, in welcher es um die Erde läuft, auch um sich selbst.

Denn, wenn man sich die Mondskugel durchsichtig und in ihrem Mittelpunkte einen Beobachter vorstellt, so wird dieser die Erde

und seine Gesichtslinie sich um ihn drehen sehen; und da diese Gesichtslinie fast immer im nämlichen Punkte durch die Mondsfläche geht, so erhellet, daſs dieser Punkt in der nämlichen Zeit, und in der nämlichen Richtung, wie die Erde, sich um den Beobachter drehen müsse.

Indessen läſst doch eine fortgesetzte Beobachtung der Mondscheibe einige kleine Verschiedenheiten in ihren Erscheinungen bemerken. Man sieht die Flecken wechselsweise sich ihren Rändern nähern, und von ihnen entfernen; diejenigen, welche ihnen sehr nahe sind, verschwinden nach und nach, und erscheinen wieder, indem sie periodische Schwingungen machen, die man mit dem Namen des *Schwankens* oder *Wankens* (der *Libration*) des Monds bezeichnet hat. Um sich eine richtige Vorstellung von den Hauptursachen dieser Erscheinung zu machen, muſs man erwägen, daſs die Mondscheibe, vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen, von der Peripherie eines gröſsten Kreises der Mondskugel begränzt ist, welcher auf der vom Mittelpunkte der Erde nach dem Mittelpunkte dieser Kugel gehenden Linie lothrecht steht. Auf der Fläche dieses gröſsten Kreises entwirft

sich die der Erde zugekehrte Mondshalbkugel, und ihre Erscheinungen rühren von der Umdrehungsbewegung dieses Gestirns in Ansehung seines Radius Vector her. Drehete sich der Mond nicht um seine Achse, so würde sein Radius Vector, bey jedem seiner Umläufe, die Peripherie eines gröfsten Kreises auf seiner Oberfläche beschreiben, von welcher uns auf solche Art nach und nach alle Punkte sichtbar werden würden. Aber zur nämlichen Zeit, da der Radius Vector diese Peripherie beschreibt, führt die Mondskugel durch ihre Umdrehung immer sehr nahe den nämlichen Punkt ihrer Oberfläche unter diesen Radius zurück, und wendet folglich der Erde immer die nämliche Halbkugel zu. Die Ungleichheiten der Bewegung des Monds bringen kleine Verschiedenheiten in seinen Erscheinungen hervor. Denn da seine Umdrehungsbewegung an diesen Ungleichheiten keinen merklichen Antheil nimmt, so ist sie in Ansehung seines Radius Vector, der auf solche Art seiner Oberfläche in verschiedenen Punkten begegnet, veränderlich. Die Mondskugel macht daher, in Ansehung dieses Radius Vector, Schwingungen, die mit den Ungleichheiten ihrer Bewegung übereinstimmen, und

ans gewisse Theile ihrer Oberfläche wechselsweise bald verbergen, bald entdecken.

Ueberdiefs ist die Achse der Umdrehung des Monds auf der Ebene seiner Bahn nicht genau lothrecht. Setzt man, dafs sie während eines Umlaufs der Mondskugel beynahe unbeweglich sey, so ist sie über des Monds Radius Vector hin mehr oder weniger geneigt, und der von diesen beyden Linien eingeschlossene Winkel ist während der einen Hälfte des Umlaufs spitz, während der andern aber stumpf; die Erde sieht daher wechselsweise beyde Pole der Umdrehung und die ihnen nahe liegenden Theile der Mondsfläche.

Endlich befindet sich der Beobachter nicht im Mittelpunkte der Erde, sondern auf ihrer Oberfläche; die Gesichtslinie von seinem Auge nach des Monds Mittelpunkte bestimmt die Mitte der sichtbaren Halbkugel, und es ist klar, dafs diese Gesichtslinie die Oberfläche des Monds, nach dem Verhältnisse der Mondsparallaxe in merklich unterschiedenen Punkten trifft, je nachdem die Höhe desselben über dem Horizonte verschieden ist.

Alle diese Ursachen bringen bey der Mondskugel nur ein scheinbares Schwanken

hervor; sie sind blofs optisch, und afficiren die wahre Umdrehungsbewegung des Monds nicht. Indessen kann diese Bewegung kleinen Ungleichheiten unterworfen seyn; aber sie sind zu wenig merklich, als dafs man sie hätte beobachten können.

Mit den Veränderungen der Ebene des Mondäquators verhält es sich nicht so. Dominicus Cassini wurde dadurch, dafs er die Lage derselben aus Beobachtungen der Mondsflecken zu bestimmen suchte, auf folgendes sehr merkwürdige Resultat geführt, welches die ganze astronomische Theorie von dem wahren Schwanken dieses Gestirns in sich begreift: Wenn man sich durch des Monds Mittelpunkt eine erste Ebene auf seiner Umdrehungsachse lothrecht gedenkt, welche Ebene in die seines Aequators fällt, wenn man sich ferner durch den nämlichen Mittelpunkt eine zweyte Ebene mit der Ekliptik parallel, und als eine dritte die mittlere Ebene der Mondsbahn vorstellt: so haben diese drey Ebenen beständig einen gemeinschaftlichen Durchschnitt. Die zweyte, zwischen den beyden andern liegende Ebene macht mit der ersten einen Winkel von ungefähr $1^{\circ},67$, und mit der dritten einen Winkel von $5^{\circ},7188$.

So fallen die Durchschnitte des Mondäquators mit der Ekliptik, oder seine Knoten beständig mit den mittlern Knoten der Mondsbahn zusammen, und haben, wie diese, eine rückläufige Bewegung, die eine Periode von 6793,3009 Tagen hält. In dieser Zeit beschreiben die beyden Pole des Aequators und der Bahn des Monds kleine Kreise mit der Ekliptik parallel, zwischen die sie den Pol der Ekliptik so einschliefsen, dafs diese drey Pole beständig in einem gröfsten Kreise der Himmelskugel liegen.

Ueber der Oberfläche des Monds erheben sich Berge von ansehnlicher Höhe, deren Schatten in den Ebenen, auf welche sie fallen, Flecken bilden, welche mit der Lage der Sonne wechseln. An den Rändern des erleuchteten Theils der Mondscheibe sieht man diese Berge unter der Gestalt einer eingekerbten Zahnarbeit, die sich über die Erleuchtungsgränze hinaus um eine Gröfse erstreckt, deren Maafs uns belehrt hat, dafs ihre Höhe aufs wenigste zehn- bis zwölftausend Fufs betrage. Man erkennt ferner aus der Richtung der Schatten, dafs die Oberfläche des Monds mit Vertiefungen übersäet ist, die den Beeten unserer Meere ohngefähr ähnlich sind. Endlich scheint die Oberfläche

fläche des Monds auch Spuren von Vulkanen zu zeigen; mehrere Beobachter haben in ihrem noch nicht erleuchteten Theile ein so lebhaftes Licht wahrgenommen, dafs sie es sogar einem vulkanischen Ausbruche zugeschrieben haben. Von dieser Ursache läfst sich auch die Bildung mehrerer neuer Flecken herleiten.

Fünftes Kapitel.

Von den Planeten, und insbesondere vom Merkur und der Venus.

Mitten unter der unendlichen Zahl funkelnder Punkte, womit das Himmelsgewölbe übersäet ist, und die eine beynahe unveränderliche Lage gegen einander behalten, sieht man sechs Sterne in regelmäfsigen Perioden, und nach verwickelten Gesetzen sich bewegen, deren Untersuchung einer der wichtigsten Gegenstände der Astronomie ist. Diese Sterne, denen man den Namen der *Planeten* gegeben hat, sind: *Merkur*, *Venus*, *Mars*, *Jupiter*, *Saturn* und *Uranus*. Die zwey ersten entfernen sich von der Sonne nie über gewisse Gränzen, die andern aber auf alle möglichen Winkelabstände. Die Bewegungen aller dieser Körper sind in einer Zone der Himmelskugel einge-

schlossen, die man den *Thierkreis* genannt hat, und deren Breite von ohngefähr 20 Graden durch die Ekliptik in zwey gleiche Theile getheilt wird.

Merkur entfernt sich von der Sonne nie über 32 Grade. Wenn er des Abends anfängt sichtbar zu werden, so unterscheidet man ihn mit Mühe in den Stralen der Dämmerung. An den folgenden Tagen kommt er mehr und mehr aus denselben hervor, und nachdem er sich ohngefähr auf 25 Grade von der Sonne entfernt hat, geht er wieder zu ihr zurück. Während dieser Zeit ist die Bewegung des Merkurs, auf die Fixsterne bezogen, rechtläufig, wenn aber bey seinem Zurückgehen zur Sonne seine Entfernung von dieser nicht mehr als 20 Grade beträgt, so scheint er stille zu stehen, und seine Bewegung wird hierauf rückläufig. Merkur fährt fort sich der Sonne wieder zu nähern, und endigt damit, dafs er sich des Abends in ihren Stralen wieder verliert. Nachdem er daselbst einige Zeit unsichtbar verweilt hat, so sieht man ihn des Morgens wieder aus diesen Stralen hervorgehen und sich von der Sonne entfernen. Seine Bewegung ist rückläufig, wie vor seinem Verschwinden; wenn aber der Planet zum zwanzigsten Grade der Entfernung

von der Sonne gekommen ist, so steht er aufs neue stille und nimmt hernach wieder eine rechtläufige Bewegung an; so fährt er fort sich bis auf einen Abstand von 25 Graden von der Sonne zu entfernen. In der Folge nähert er sich ihr wieder, verliert sich des Morgens wieder in den Stralen der Morgenröthe, und zeigt sich bald darauf des Abends wieder, um die nämlichen Erscheinungen wieder anzufangen.

Die Weite der gröfsten Ausweichung des Merkurs von der Sonne auf beyden Seiten derselben ändert sich von 18 bis zu 32 Graden. Die Dauer seiner ganzen Schwingungen, oder seines Ausweichens und Zurückkommens zur nämlichen Lage in Ansehung der Sonne ändert sich auf gleiche Art von 106 bis zu 130 Tagen; der mittlere Bogen seines Rücklaufs beträgt ohngefähr 15 Grade, und dessen mittlere Dauer 23 Tage; aber es finden sich grofse Verschiedenheiten zwischen diesen Gröfsen bey verschiedenen Rückläufen. Ueberhaupt sind die Bewegungsgesetze des Merkurs sehr verwikkelt; sein Ort ist auch nicht genau in der Ebene der Ekliptik, sondern der Planet entfernt sich zuweilen bis über 5 Grade von dieser.

Es gehörte ohne Zweifel eine sehr lange Reihe von Beobachtungen dazu, um die Identität dieser beyden Sterne, die man wechselsweise, bald des Morgens, bald des Abends sich von der Sonne entfernen, und sich ihr wieder nähern sah, zu erkennen. Aber da der eine sich nie zeigte, bevor der andere verschwunden war, so schloſs man endlich, daſs es der nemliche Planet wäre, der auf beyden Seiten der Sonne seine Schwingungen machte.

Merkurs scheinbarer Durchmesser ist veränderlich, und seine Veränderungen stehen in offenbarer Beziehung mit seiner Lage gegen die Sonne und mit der Richtung seiner Bewegung. Er ist am kleinsten, wenn der Planet sich des Morgens in den Sonnenstralen verliert, oder wenn er des Abends aus denselben hervorkommt; er ist am gröſsten, wenn er des Abends sich in diesen Stralen verliert, oder des Morgens aus denselben hervorkommt. Seine mittlere Gröſse ist 21″,3.

Zuweilen sieht man ihn in der Zwischenzeit von seinem Verschwinden des Abends bis zu seinem Wiedererscheinen des Morgens unter der Gestalt eines schwarzen Flek-

kens, der eine Chorde der Sonnenscheibe beschreibt, über diese Scheibe wegrücken. Man erkennt ihn an seiner Lage, an seinem scheinbaren Durchmesser, und an seiner rücklaufigen Bewegung, welche Umstände alle, mit denen, wie sie alsdann seyn müssen, übereinstimmen. Diese Durchgänge des Merkurs sind wahre ringförmige Sonnenfinsternisse, die uns beweisen, dafs dieser Planet sein Licht von der Sonne entlehnt. Durch stark vergrösernde Fernröhre betrachtet zeigt er ähnliche Phasen, wie der Mond, die auch, wie die letztern, gegen die Sonne gerichtet sind, und durch ihre nach der Lage des Planeten in Ansehung der Sonne, und nach der Richtung seiner Bewegung veränderliche Gröfse über die Beschaffenheit seiner Bahn ein grofses Licht verbreiten.

Die Venus zeigt die nämlichen Erscheinungen, wie der Merkur, mit dem Unterschiede, dafs ihre Phasen viel merklicher, ihre Schwingungen gröfser, und deren Dauer beträchtlicher ist. Die gröfste Ausweichung der Venus ändert sich von 50 bis zu 53 Graden, und die mittlere Dauer ihrer ganzen Schwingungen ist 584 Tage. Der Rücklauf fängt an oder endigt sich, wenn der Planet bey seiner

Annäherung zur Sonne, des Abends, oder bey seiner Entfernung von derselben des Morgens ohngefähr 32 Grade von ihr absteht. Der mittlere Bogen seines Rücklaufs beträgt ohngefähr 18 Grade, und dessen mittlere Dauer 42 Tage. Die Venus bewegt sich nicht genau in der Ebene der Ekliptik, sondern kann sich um mehrere Grade von derselben entfernen.

Auch die Venus scheint, wie der Merkur, zuweilen eine Chorde der Sonnenscheibe zu beschreiben. Die Dauer ihrer Durchgänge durch die letztere, in grofsen Entfernungen auf der Erde beobachtet, ist sehr merklich verschieden. Diefs ist eine Folge von der Parallaxe der Venus, vermöge welcher verschiedene Beobachter sie auf verschiedene Punkte der Sonnenscheibe beziehen, und sie verschiedene Chorden dieser Scheibe beschreiben sehen. Bey dem Durchgange, welcher im Jahre 1769 vorfiel, betrug der Unterschied der Dauer, wie sie zu Otaheiti, auf dem Südmeere, und zu Cajaneburg, im schwedischen Lapplande, war beobachtet worden, mehr, als 15 Minuten. Die Gröfsen dieser Dauer können mit grofser Genauigkeit bestimmt werden, ihre Unterschiede geben sehr genau die Parallaxe der Venus und folglich

ihre Entfernung von der Erde im Augenblicke ihrer Conjunction.

Ein merkwürdiges Gesetz, das wir in der Reihe der Entdeckungen, die darauf geführt haben, beybringen werden, knüpft diese Parallaxe an die der Sonne und der Planeten. Daher ist die Beobachtung dieser Durchgänge von grofser Wichtigkeit für die Astronomie. Nachdem sie in Zeit von acht Jahren auf einander gefolgt sind, kommen sie erst nach Verfluſs von mehr, als einem Jahrhunderte, wieder, um abermal in der kurzen Zeit von acht Jahren wieder auf einander zu folgen, und so immer fort. Die zwey letzten Durchgänge erfolgten in den Jahren 1761 und 1769; die Astronomen begaben sich dabey in die Länder, wo es am vortheilhaftesten war, sie zu beobachten, und aus der Vergleichung ihrer Beobachtungen hat man die Gröfse der Sonnenparallaxe in ihrer mittleren Entfernung von der Erde auf 27″,2 bestimmt.

Die grofsen Veränderungen des scheinbaren Durchmessers der Venus beweisen uns, dafs ihre Entfernung von der Erde sehr veränderlich ist; sie ist am kleinsten im Augenblicke ihres Durchgangs durch die Son-

nenscheibe, und alsdann ist ihr scheinbarer Durchmesser ohngefähr 177″. Die mittlere Gröſse dieses Durchmessers ist 51″,54.

Die Bewegung einiger auf ihrer Oberfläche beobachteter Flecken zeigt eine Umdrehung an, wozu sie einen Tag zu brauchen scheint; aber dieses Element bedarf noch einer weiteren Bestättigung durch neuere Beobachtungen. Die äuſserste Schwierigkeit, auch durch die stärksten Fernröhre diese Flecken gewahr zu nehmen, macht diese Beobachtungen in unsern Klimaten beynahe unmöglich; sie verdienen die Aufmerksamkeit solcher Beobachter, die mehr gegen Mittag unter einem günstigeren Himmelsstriche wohnen.

Die Venus übertrift an Helligkeit die übrigen Planeten und die Fixsterne; bisweilen glänzt sie so lebhaft, daſs man sie am hellen Tage mit bloſsen Augen sieht.

Diese Erscheinung, die sehr oft vorfällt, erregt immer ein groſses Erstaunen; und der Pöbel setzt sie, in seiner leichtgläubigen Unwissenheit, immer mit gleichzeitigen merkwürdigen Begebenheiten in Verbindung.

Sechstes Kapitel.

Vom Mars.

Die zwey so eben betrachteten Planeten scheinen die Sonne wie Trabanten zu begleiten, und ihre mittlere Bewegung um die Erde ist mit der dieses Gestirns einerley. Die übrigen Planeten entfernen sich auf jede möglichen Winkelabstände von der Sonne; aber ihre Bewegungen haben mit ihrer Lage merkwürdige Beziehungen.

Mars scheint uns von Abend gegen Morgen sich um die Erde zu bewegen; die mittlere Dauer seines Sideralumlaufs ist 686,979579 Tage.

Seine Bewegung ist sehr ungleich; wenn man den Planeten des Morgens bey seinem Hervortreten aus den Sonnenstralen wieder erblickt, so ist diese Bewegung rechtläufig und am schnellsten; sie wird hierauf allmälig langsamer, und gleich Null, wenn der Planet ohngefähr 152° von der Sonne absteht; von da an verwandelt sie sich in eine rückläufige Bewegung, deren Geschwindigkeit bis auf den Augenblick der Opposition des Mars mit diesem Gestirne zunimmt. Nachdem sie aber alsdann ihr Maximum erreicht

hat, so nimmt sie wieder ab, und wird gleich Null, wenn Mars bey seiner Wiederannäherung zur Sonne, dieser auf 152° nahe gekommen ist. In der Folge wird die Bewegung wieder rechtläufig, nachdem sie 73 Tage lang rückläufig gewesen ist, und der Planet während dieser Zeit einen Bogen seines Rücklaufs von ohngefähr 18 Graden beschrieben hat. Er fährt nun so lange fort, sich der Sonne wieder zu nähern, bis er sich des Abends in ihren Stralen verliert. Diese sonderbaren Erscheinungen erneuern sich mit allen Oppositionen des Mars mit sehr grossen Verschiedenheiten in Absicht auf die Weite und Dauer des Rücklaufs.

Mars bewegt sich nicht genau in der Ebene der Ekliptik, sondern weicht zuweilen um mehrere Grade davon ab. Die Veränderungen seines scheinbaren Durchmessers sind sehr grofs; er hat, bey seiner mittleren Gröfse, ohngefähr 30″, und nimmt in eben dem Maafse zu, als der Planet sich seiner Opposition nähert, wo er bis auf 90″ anwächst. Alsdann wird die Parallaxe des Mars merklich, und ohngefähr doppelt so grofs, als die der Sonne. Zwischen den Parallaxen der Sonne und des Mars hat das nämliche

Gesetz Statt, wie zwischen denen der Sonne und der Venus, und die Beobachtung der Parallaxe des Mars hat die Sonnenparallaxe schon sehr nahe bekannt gemacht, ehe noch die Durchgänge der Venus mit gröfserer Genauigkeit bestimmt werden konnten.

Man bemerkt, dafs die Scheibe des Mars, nach seiner Lage gegen die Sonne, ihre Gestalt verändert, und merklich oval wird; diese Phasen beweisen also, dafs er von ihr sein Licht erhält. Aus den Flecken, die man auf seiner Oberfläche deutlich bemerkt, hat man gefunden, dafs er sich von Abend gegen Morgen um sich selbst drehet, und zwar in Zeit von 1,02733 Tag, und um eine Achse, die gegen die Ekliptik um 66°,33 geneigt ist.

Siebentes Kapitel.

Vom Jupiter und von seinen Trabanten.

Jupiter bewegt sich von Abend gegen Morgen in einer Periode von 4332,602208 Tagen, und ist dabey ähnlichen Ungleichheiten, wie der Mars, unterworfen. Vor sei-

ner Opposition mit der Sonne, wenn er von ihr ohngefähr 128 Grade entfernt ist, wird seine Bewegung rückläufig, und nimmt, bis zum Augenblicke der Opposition, an Geschwindigkeit zu; nachher wird sie langsamer, und wieder rechtläufig, wenn der Planet, bey seiner Wiederannäherung zur Sonne, ihr wieder bis auf 128 Grade nahe gekommen ist. Die Dauer dieser rückläufigen Bewegung beträgt ungefähr 121 Tage, und der Bogen des Rücklaufs 11 Grade; aber es finden sich merkliche Unterschiede in Absicht auf die Weite und Dauer verschiedener Rückläufe Jupiters. Dieser Planet bewegt sich nicht genau in der Ebene der Ekliptik, sondern entfernt sich zuweilen um drey bis vier Grade davon.

Auf Jupiters Oberfläche bemerkt man mehrere dunkle Streifen, die einander selbst und der Ekliptik merklich parallel sind; ausser diesen bemerkt man auf derselben noch andere Flecken, deren Bewegung die Umdrehung dieses Planeten von Abend gegen Morgen um eine auf der Ebene der Ekliptik beynahe lothrechte Achse, und in Zeit von 0,41377 Tage bekannt gemacht hat. Die Veränderungen einiger dieser Flecken, und

die merklichen Unterschiede in der Dauer der Umdrehungen, die sich aus ihren Bewegungen ergeben, führen auf die Vermuthung, dafs sie nicht an der Jupiterskugel selbs haften. Sie scheinen vielmehr eben so viele Wolken zu seyn, welche die Winde in einer stark bewegten Atmosphäre mit verschiedenen Geschwindigkeiten forttreiben.

Jupiter ist, nach der Venus, der glänzendste Planet; ja zuweilen übertrift er sogar diese noch an Helligkeit. Sein scheinbarer Durchmesser erreicht die höchste mögliche Gröfse in den Oppositionen, wo er bis auf 149″ steigt; seine mittlere Gröfse ist 120″ in der Richtung des Aequators genommen, aber er ist nicht in jeder Richtung gleich. Der Planet ist bey den Polen seiner Umdrehung merklich abgeplattet, und man hat durch sehr genaue Messungen gefunden, dafs sein Durchmesser in der Richtung der Pole zum Durchmesser seines Aequators sich sehr nahe wie 13 zu 14 verhalte.

Man beobachtet um den Jupiter vier kleine Sterne, die ihn ohne Aufhören begleiten. Ihre Stellung ändert sich jeden Augenblick; sie machen ihre Schwingungen auf beyden Seiten des Planeten, und nach der

ganzen Länge dieser Schwingungen bestimmt man die Ordnung dieser Trabanten, so, daſs man den den *ersten* nennt, dessen Schwingung die kürzeste ist. Man sieht sie zuweilen über Jupiters Scheibe weggehen, und ihren Schatten darauf werfen, welcher alsdann eine Chorde dieser Scheibe beschreibt. Jupiter und seine Trabanten sind also dunkle Körper, die von der Sonne erleuchtet werden. Wenn die Trabanten zwischen die Sonne und den Jupiter treten, so verursachen sie auf diesem Planeten wahre Sonnenfinsternisse, die denen völlig ähnlich sind, welche der Mond auf der Erde bewirkt.

Diese Erscheinung führt zur Erklärung einer andern, welche die Trabanten zeigen. Man sieht sie nemlich oft verschwinden, ungeachtet sie noch weit von der Scheibe des Planeten entfernt sind; der dritte und vierte erscheinen zuweilen sogar auf der nämlichen Seite dieser Scheibe wieder. Dieſs den Mondsfinsternissen ganz ähnliche Verschwinden läſst sich allein aus dem Schatten erklären, den Jupiter, der Sonne gegenüber, hinter sich wirft. Die Umstände, die es begleiten, setzen die Wirklichkeit dieser Ursache auſser allem Zweifel. Man sieht die Trabanten im-

mer auf der der Sonne entgegengesetzten Seite von Jupiters Scheibe, folglich auf einerley Seite mit dem Schattenkegel, den er wirft, verschwinden; sie werden näher bey diesen Scheibe verfinstert, wenn der Planet seiner Opposition näher ist; endlich kommt die Dauer ihrer Verfinsterungen genau mit der Zeit überein, die sie anwenden müssen, um durch Jupiters Schattenkegel zu gehen. Die Trabanten bewegen sich also von Abend gegen Morgen in Bahnen, die diesen Planeten einschliefsen.

Die Beobachtung ihrer Verfinsterungen ist das genaueste Hülfsmittel zur Bestimmung ihrer Bewegungen. Aus der Vergleichung solcher, um einen grofsen Zeitraum entfernter und in der Nähe von den Oppositionen des Planeten beobachteter Verfinsterungen erhält man sehr genau ihre mittleren Bewegungen, die siderische und die synodische aus Jupiters Mittelpunkte gesehen. Man findet auf diese Art, dafs die Bewegung der Jupiterstrabanten beynahe kreisförmig und gleichförmig ist, weil diese Hypothese den Verfinsterungen, wobey wir diesen Planeten in der nämlichen Lage gegen die Sonne sehen, ziemlich nahe Genüge thut. Man kann daher die Lage der Jupiters-

trabanten, aus des Planeten Mittelpunkte gesehen, für jeden Augenblick bestimmen.

Hieraus ergiebt sich eine einfache und sehr genaue Methode, die Entfernungen des Jupiters und der Sonne von der Erde mit einander zu vergleichen. Die alten Astronomen kannten diese Methode nicht; denn, da Jupiters Parallaxe auch selbst für die Genauigkeit der neuern Beobachtungen, und wenn er uns am nächsten ist, unmerklich ist, so urtheilten sie über seine Entfernung blofs nach der Dauer seines Umlaufs, indem sie die Planeten für entfernter hielten, die zu ihrem Umlaufe eine längere Zeit brauchen.

Gesetzt, man habe die ganze Dauer einer Verfinsterung des dritten Trabanten beobachtet. In der Mitte der Verfinsterung war der Trabant, aus Jupiters Mittelpunkte gesehen, sehr nahe in Opposition mit der Sonne; sein siderischer Stand, aus diesem Mittelpunkte gesehen, den man aus seiner mittleren Bewegung leicht bestimmen kann, war demnach damals einerley mit dem von Jupiters Mittelpunkte, aus dem Mittelpunkte der Sonne gesehen. Die directe Beobachtung oder die bekannte Bewegung der Sonne giebt die Lage der Erde aus dem Mittelpunkte dieses Gestirns gesehen.

hen. Gedenkt man sich also ein Dreyeck, das die Linien einschliefsen, welche die Mittelpunkte der Sonne, der Erde und des Jupiters verbinden, so hat man in demselben den Winkel an der Sonne; die Beobachtung giebt den Winkel an der Erde, und man hat also für den Augenblick der Mitte der Verfinsterung die geradlinigten Abstände Jupiters von der Erde und von der Sonne, in Theilen des Abstandes der Sonne von der Erde.

Man findet durch dieses Mittel, dafs Jupiter zum wenigsten fünfmal weiter von uns entfernt ist als die Sonne, wenn sein scheinbarer Durchmesser 120″ ist. In der nämlichen Entfernung würde der Durchmesser der Erde nur unter einem Winkel von 11″ erscheinen; der Raumsinhalt des Jupiters ist also zum wenigsten tausendmal gröfser als der der Erde.

Achtes Kapitel.

Vom Saturn, von seinen Trabanten und seinem Ringe.

Die Periode der siderischen Bewegung des Saturns um die Erde ist 10759,077213 Tage; diese Bewegung, die von Abend gegen Morgen, und sehr nahe in der Ebene der Ekliptik vor sich geht, ist ähnlichen Ungleichheiten, wie die Bewegungen des Jupiters und Mars unterworfen. Sie fängt an und hört auf rückläufig zu seyn, wenn der Planet vor und nach seiner Opposition ohngefähr um 121° von der Sonne entfernt ist; die Dauer dieses Rücklaufs ist ohngefähr 139 Tage, und der Bogen desselben ohngefähr 7 Grade. Im Augenblicke der Opposition ist Saturns Durchmesser am gröfsten; seine mittlere Gröfse ist 54″,4.

Saturn zeigt eine Erscheinung, die im Weltsystem einzig ist. Man sieht ihn fast immer in der Mitte von zwey kleinen Körpern, die an ihm zu haften scheinen, und deren Gestalt und Gröfse sehr veränderlich ist; zuweilen verschwinden sie sogar, und alsdann erscheint Saturn rund, wie die andern Planeten. Durch sorgfältige Verfolgung dieser sonderbaren Erscheinungen, und durch Zusammenstel-

lung derselben mit Saturns Lagen gegen die Sonne und die Erde hat Huygens gefunden, daſs sie die Wirkungen eines breiten und dünnen, die Saturnskugel auf allen Seiten frey umgebenden Ringes sind. Dieser gegen die Ebene der Ekliptik um $34^{\circ},8$ geneigte Ring, zeigt sich der Erde nie anders als schief, unter der Gestalt einer Ellipse, deren Breite, wenn sie am gröſsten ist, ohngefähr die Hälfte ihrer Länge beträgt. In dieser Lage ragt ihre kleine Achse über die Scheibe des Planeten hervor. Die Ellipse zieht sich hierauf mehr und mehr in die Länge, in dem Maaſse, wie die Gesichtslinie vom Saturn nach der Erde tiefer unter die Ebene des Rings fällt, dessen hinterer Bogen damit endigt, daſs er sich hinter den Planeten versteckt; der vordere Bogen fällt mit ihm zusammen, aber sein Schatten, den er auf Saturns Scheibe wirft, bildet daselbst einen dunkeln Streifen, den man durch starke Fernröhre beobachtet, und welcher beweiſst, daſs Saturn und sein Ring dunkle Körper sind, die von der Sonne erleuchtet werden. Alsdann unterscheidet man nur noch die Theile des Rings, die sich auf beyden Seiten über den Saturn hinaus erstrecken; auch diese Theile nehmen nach und nach an Breite ab, und verschwinden endlich, wenn die Erde,

vermöge der Bewegung des Saturns, in der Ebene des Rings ist, dessen Dicke zu unbeträchtlich ist, um bemerkt zu werden. Der Ring verschwindet auch noch, wenn die Sonne seine Fläche so trifft, daſs sie nur seine Dicke erleuchtet. Er bleibt so lange unsichtbar, als seine Fläche zwischen der Sonne und der Erde sich befindet, und er erscheint nur dann wieder, wenn die Sonne und die Erde, vermöge der respectiven Bewegungen Saturns und der Sonne, auf der nämlichen Seite dieser Fläche stehen.

Da die Fläche des Rings bey jedem halben Umlaufe des Saturns der Sonnenbahn begegnet, so erneuern sich die Erscheinungen seines Verschwindens und seines Wiedererscheinens ohngefähr alle fünfzehn Jahre, aber mit oft abwechselnden Umständen; man kann alsdann den Ring im nämlichen Jahre zwey- und mehrmal erscheinen und wiedererscheinen sehen.

Zu der Zeit, da der Ring verschwindet, sendet seine Dicke uns das Sonnenlicht zu, aber in zu geringem Maaſse, als daſs es merklich wäre.

Man begreift indessen leicht, daſs um ihn gewahr zu nehmen, man nur die Vergröſserung der Teleskope zu verstärken brauche; und dieſs hat auch Herschel, beym letzten

Verschwinden des Rings durch die Erfahrung bewiesen, indem er nie aufhörte, ihn zu sehen, während er für alle andere Beobachter verschwunden war.

Des Rings Neigung gegen die Ekliptik mifst man nach der gröfsten Oeffnung der Ellipse, die er uns zeigt; die Lage seiner Knoten kann man durch die scheinbare Lage Saturns bestimmen, weil, beym Verschwinden und Wiedererscheinen des Rings die Erde in seiner Ebene liegt. Alle Erscheinungen des Verschwindens und Wiedererscheinens, woraus sich die nämliche siderische Lage der Knoten des Rings ergiebt, erfolgen aus der Ursache, weil seine Ebene durch die Erde geht; die übrigen enstehen daher, dafs diese Ebene durch die Sonne geht. Man kann demnach aus dem Orte Saturns, zur Zeit, da der Ring wieder erscheint oder verschwindet, erkennen, ob diese Erscheinung davon herrühre, dafs seine Ebene durch die Sonne, oder davon, dafs sie durch die Erde gehet. Gehet diese Ebene durch die Sonne, so giebt die Lage seiner Knoten, die des Saturns aus dem Mittelpunkte der Sonne gesehen, und alsdann kann man die geradlinigte Entfernung Saturns von der Erde bestimmen, wie man die des Jupiters, ver-

mittelst der Verfinsterungen seiner Trabanten bestimmt. Man findet auf solche Art, dafs Saturn ohngefähr neun und ein halbmal weiter als die Sonne von uns entfernt ist, wenn sein scheinbarer Durchmesser 54″,4 grofs ist.

Die scheinbare Breite des Rings ist seiner Entfernung von der Oberfläche Saturns ohngefähr gleich; eine wie die andere scheint dem dritten Theile vom Durchmesser dieses Planeten gleich zu seyn; aber wegen der Irradiation mufs die wahre Breite des Rings kleiner seyn. Seine Oberfläche ist nicht zusammenhangend; ein schwarzer mit ihm concentrischer Streifen theilt sie in zwey Theile, welche zwey abgesonderte Ringe zu bilden scheinen. Aus der Beobachtung einiger hellen Punkte dieses Rings hat Herschel gefunden, dafs er sich in Zeit von 0,437 Tag von Abend gegen Morgen um eine Achse dreht, die auf seiner Ebene lothrecht ist, und durch Saturns Mittelpunkt geht.

Man hat bey diesem Planeten sieben Trabanten beobachtet, die sich von Abend gegen Morgen in beynahe kreisförmigen Bahnen um ihn drehen. Die sechs ersten bewegen sich sehr nahe in der Ebene des Rings; die Bahn des siebenten nähert sich mehr der

Ebene der Ekliptik. Wenn dieser Trabante auf der Morgenseite Saturns steht, so wird sein Licht so schwach, daſs es sehr schwer wird, ihn gewahr zu nehmen, was nur von Flecken herrühren kann, welche die Halbkugel, die er uns zuwendet, bedecken; aber um uns diese Erscheinung beständig in der nämlichen Lage zu zeigen, wird erfordert, daſs dieser Trabante sich, wie der Mond, in einer Zeit, die der seines Umlaufs um den Saturn gleich ist, um sich selbst drehe.

Eben dieses hat Herschel durch directe Beobachtung seiner Flecken bestätiget.

Saturns Durchmesser sind einander nicht gleich; derjenige, welcher auf der Ebene des Rings lothrecht steht, scheint zum wenigsten um ein Eilftel kleiner, als der, welcher in dieser Ebene liegt. Vergleicht man diese Abplattung mit der des Jupiters, so kann man mit groſser Wahrscheinlichkeit daraus schliessen, daſs Saturn sich um seinen kleinern Durchmesser mit groſser Schnelligkeit drehe, und der Ring sich in der Ebene seines Aequators bewege. Herschel hat auch dieses Resultat durch directe Beobachtungen bestätiget. Er hat nämlich die Dauer der Umdrehung des Saturns, welche, wie alle Bewe-

gungen, im Planetensysteme, von Abend gegen Morgen zu geschieht, 0,428 Tage gleich gefunden.

Ueberdiefs hat er auch auf der Oberfläche dieses Planeten fünf, dem Aequator desselben beynahe *parallele, Streifen* beobachtet.

Neuntes Kapitel.

Vom Uranus und seinen Trabanten.

Die fünf bisher betrachteten Planeten waren im höchsten Alterthume bekannt, der Planet Uranus aber war, durch seine Kleinheit, den alten Beobachtern entgangen. Flamstead hatte ihn schon am Ende des verflossenen, Mayer und le Monnier im gegenwärtigen Jahrhunderte als einen kleinen Fixstern beobachtet; aber erst im Jahre 1781 erkannte Herschel seine Bewegung, und bald nachher brachte man es, durch sorgfältige Verfolgung desselben zur Gewifsheit, dafs er ein wahrer Planet ist.

Uranus bewegt sich, wie Mars, Jupiter und Saturn, von Abend gegen Morgen um

die Erde; die Dauer seines Sideralumlaufs ist 30689,00 Tage; seine Bewegung, die sehr nahe in der Ebene der Ekliptik vor sich geht, fängt an rückläufig zu werden, wenn der Planet vor der Opposition 115° von der Sonne entfernt ist; sie hört auf, es zu seyn, wenn er, nach der Opposition, bey seiner Wiederannäherung zur Sonne, ihr bis auf 115° nahe gekommen ist. Die Dauer seines Rücklaufs ist ohngefähr 151 Tage, und der Bogen desselben 4 Grade. Wenn man die Entfernung des Uranus nach der Langsamkeit seiner Bewegung beurtheilt, so mufs er an den Gränzen des Planetensystems seyn. Sein scheinbarer Durchmesser ist sehr klein, und erstreckt sich kaum auf 12 Secunden. Hèrschel hat, vermittelst eines sehr grofsen Teleskops, zwey Trabanten um diesen Planeten entdeckt, die sich in beynahe kreisförmigen, und auf der Ebene der Ekliptik fast lothrechten Bahnen bewegen.

Zehntes Kapitel.

Von den Kometen.

Oft sieht man Sterne, welche von Anfange beynahe unmerklich sind, bald aber an Gröfse und Geschwindigkeit wachsen, hierauf wieder abnehmen, und endlich aufhören sichtbar zu seyn.

Diese Sterne, die man Kometen nennt, erscheinen fast immer mit einem Nebel begleitet, welcher anwächst, und sich zuweilen in einen sehr langen Schweif endigt, dessen Materie sehr dünne ist, da man die Fixsterne dadurch sieht.

Die Erscheinung der mit solchen langen Lichtschweifen begleiteten Kometen hat lange Zeit hindurch die Menschen in Schrecken gesetzt, die immer durch aufserordentliche Begebenheiten, deren Ursachen ihnen unbekannt sind, erschüttert werden. Das Licht der Wissenschaften hat diese leeren Schrecknisse, welche die Kometen, die Finsternisse und noch viele andere Erscheinungen in den Jahrhunderten der Unwissenheit mit sich führten, zerstreut.

Die an dem Kometen des Jahrs 1744, von welchem man nur die Hälfte seiner er-

leuchteten Scheibe sahe, beobachtete Lichtgestalt beweifst, dafs diese Sterne dunkle Körper sind, die ihr Licht von der Sonne entlehnen.

Die Kometen nehmen, wie alle Gestirne, an der täglichen Bewegung des Himmels Theil, und diefs, mit der Kleinheit ihrer Parallaxe zusammengenommen, giebt zu erkennen, dafs sie keine, in unserer Atmosphäre entstandene Meteore sind. Ihre eigenen Bewegungen sind sehr verwickelt; sie erfolgen nach allen Richtungen, und bleiben nicht, wie die der Planeten, in der Richtung von Abend nach Morgen, und in Ebenen, die gegen die Ekliptik nur wenig geneigt sind.

Eilftes Kapitel.

Von den Fixsternen und ihrer Bewegung.

Die Parallaxe der Fixsterne ist unmerklich; wenn man sie durch die stärksten Teleskope betrachtet, ziehen sich ihre Scheibchen in leuchtende Punkte zusammen, und darin sind sie von den Planeten unterschieden, deren scheinbare Gröfse die Teleskope vermehren.

Die Kleinheit des scheinbaren Durchmessers der Fixsterne zeigt sich besonders durch die kurze Zeit, die sie bey ihren Bedeckungen vom Monde brauchen, um zu verschwinden, welche, da sie keine ganze Secunde beträgt, zu erkennen giebt, dafs dieser Durchmesser kleiner ist, als fünf Secunden eines Grads.

Die Lebhaftigkeit des Lichts der glänzendsten Fixsterne, verglichen mit der Kleinheit ihrer scheinbaren Scheiben, macht es glaublich, dafs sie viel weiter von uns entfernt seyen, als die Planeten, und dafs sie nicht, wie diese, ihr Licht von der Sonne entlehnen, sondern für sich selbst leuchten. Und da die kleinsten Fixsterne den nämlichen Gesetzen, wie die glänzendsten, unterworfen sind, und beständig einerley Lage gegen einander behalten, so ist es sehr wahrscheinlich, dafs alle diese Gestirne einerley Natur haben, und dafs sie eben so viele, mehr oder weniger grofse leuchtende Körper seyen, die, jenseits der Gränzen des Planetensystems in gröfserer oder geringerer Entfernung liegen.

Man bemerkt an dem Lichte mehrerer Sterne, die man deſswegen *veränderliche* nennt, periodische Abwechselungen der Stärke.

Zuweilen hat man auch Sterne fast augenblicklich sich zeigen, und wieder verschwinden gesehen, nachdem sie einige Zeit mit dem lebhaftesten Glanze gefunkelt hatten. Von dieser Art war der berüchtigte Stern, der im Jahre 1572 im Sternbilde der Kassiopeia gesehen wurde; er übertraf in kurzer Zeit die Helligkeit der schönsten Fixsterne und selbst des Jupiters; sein Licht wurde hierauf schwächer, und er verschwand, sechzehn Monate nach seiner Entdeckung gänzlich, ohne daſs er während dieser Zeit seinen Platz am Himmel verändert hätte. Seine Farbe litt beträchtliche Veränderungen; sie war von Anfange glänzendweiſs, wurde in der Folge röthlichgelb, und zuletzt bleyfärbigweiſs. Was ist die Ursache dieser Erscheinungen? Sehr groſse Flecken, die die Sterne uns periodisch zeigen, indem sie sich um sich selbst drehen, ohngefähr wie der letzte Saturnstrabante, und die Dazwischenkunft groſser dunkler Körper, die sich um sie bewegen, sind hinreichend, um die periodischen Abwechselungen der veränderlichen Sterne zu

nördlich oder südlich ist, nach dem Namen des Pols, bey dem er am nächsten steht.

Da alle Sterne, die in einerley Parallele des Aequators liegen, einerley Abweichung haben, so bedarf man zur Bestimmung ihrer Lage ein neues Element. Dazu hat man nun den Bogen des Aequators zwischen dem Abweichungskreise und dem Punkte der Frühlingsnachtgleiche gewählt. Diesen Bogen vom Frühlingspunkte an nach der Richtung der eigenen Bewegung der Sonne, d. h. von Abend gegen Morgen gerechnet, nennt man die *gerade Aufsteigung*; so wird die Lage der Sterne durch ihre gerade Aufsteigung und Abweichung bestimmt.

Die Mittagshöhe eines Sterns, verglichen mit der Polhöhe, giebt seine Entfernung vom Aequator, oder seine Abweichung. Die Bestimmung der geraden Aufsteigung machte den alten Astronomen mehr Schwierigkeiten wegen der Unmöglichkeit, worin sie sich befanden, die Sterne geradezu mit der Sonne zu vergleichen. Da der Mond bey Tage mit der Sonne, und bey Nacht mit den Sternen verglichen werden kann, so bedienten sie sich seiner Vermittelung, um den Unterschied zwischen der geraden Aufsteigung der Sonne,

und

und der Sterne zu messen, mit Rücksicht auf die eigenen Bewegungen des Monds und der Sonne in der Zwischenzeit der Beobachtungen. Die Theorie der Sonne giebt sofort ihre gerade Aufsteigung; und daraus leiteten sie die geraden Aufsteigungen einiger der vornehmsten Fixsterne her, auf welche sie die übrigen bezogen.

Durch dieſs Hülfsmittel verfertigte Hipparch das erste Fixsternverzeichniſs, das uns bekannt worden ist. Erst lange Zeit hernach gab man dieser Methode dadurch eine gröſsere Genauigkeit, daſs man, anstatt des Monds, sich der Venus dazu bediente, die man bisweilen am hellen Tage sehen kann, und deren Bewegung während einer kurzen Zeit langsamer und weniger ungleich ist, als die des Monds. Jetzt, da die wichtige Anwendung des Pendels auf die Uhren ein sehr genaues Zeitmaaſs giebt, können wir geradezu, und viel genauer, als die alten Astronomen, den Unterschied der geraden Aufsteigung eines Sterns und der Sonne aus der zwischen ihren Durchgängen durch den Meridian verflossenen Zeit bestimmen.

Auf eine ähnliche Art kann man die Lage der Sterne auch auf die Ekliptik be-

ziehen, was besonders in der Theorie des Monds und der Planeten nützlich ist. Man gedenkt sich zu dem Ende durch den Mittelpunkt des Sterns einen gröfsten Kreis auf die Ebene der Ekliptik lothrecht, den man einen *Breitenkreis* nennt. Der Bogen dieses Kreises zwischen der Ekliptik und dem Sterne mifst seine *Breite*, welche nördlich oder südlich ist, nach dem Namen des auf der nämlichen Seite der Ekliptik liegenden Pols. Den Bogen der Ekliptik zwischen dem Breitenkreise und dem Frühlingspunkte von dem letzteren an in der Richtung von Abend gegen Morgen gerechnet, nennt man die *Länge* des Sterns, dessen Lage auf solche Art durch seine Länge und Breite bestimmt ist.

Man begreift leicht, dafs, wenn die Neigung der Ekliptik gegen den Aequator bekannt ist, die Länge und Breite eines Sterns aus seiner beobachteten geraden Aufsteigung und Abweichung hergeleitet werden können.

Es waren nur wenige Jahre erforderlich, um die Veränderung der Sterne in gerader Aufsteigung und Abweichung zu erkennen.

So bald man bemerkte, dafs, während sie ihre Lage gegen den Aequator veränder-

ten, sie die nämliche Breite behielten; so schlofs man auch daraus, dafs ihre Veränderungen in gerader Aufsteigung und Abweichung nur von der Bewegung der Himmelskugel um die Pole der Ekliptik herrühren könnten.

Man kann diese Veränderungen auch darstellen, wenn man die Sterne für unbeweglich annimmt, und die Pole des Aequators um die der Ekliptik sich bewegen läfst. Bey dieser Bewegung bleibt die Neigung des Aequators gegen die Ekliptik die nämliche, und seine Knoten, oder die Punkte der Nachtgleichen weichen gleichförmig jedes Jahr 155″,09 zurück. Man hat im Vorhergehenden gesehen, dafs diefs Zurückweichen der Aequinoctialpunkte das tropische Jahr etwas kürzer macht, als das siderische; so hangen also der Unterschied des siderischen und tropischen Jahrs und die Veränderungen der Sterne in gerader Aufsteigung und Abweichung von dieser Bewegung ab, durch welche der Pol des Aequators jährlich einen Bogen von 155″,09 eines kleineren, der Ekliptik parallelen Kreises der Himmelskugel beschreibt. Und darin besteht die unter

dem Namen des *Vorrückens der Nachtgleichen* *) bekannte Erscheinung.

Die Genauigkeit, welche die neuere Astronomie hauptsächlich der Anwendung der Fernröhre bey den astronomischen Werkzeugen und der des Pendels bey den Uhren

*) Jeder Leser, der nicht schon vorher genau weifs, was man eigentlich mit dieser Benennung bezeichnet, wird hier Anstofs nehmen, und fragen: „Wenn diese Erscheinung, nach der obigen Erklärung, darin besteht, dafs die Punkte der Nachtgleichen jährlich um eine gewisse Gröfse *zurückweichen*, wie konnte man ihr denn den Namen des *Vorrückens der Nachtgleichen* beylegen, der gerade das Entgegengesetzte anzudeuten scheint?“ Es ist allerdings eine sehr tadelhafte und manche Verwirrungen veranlassende Verwechselung, das *Vorrücken der Nachtgleichen* zu nennen, was in der That ein *Vorrücken der Sterne* und *Zurückweichen der Nachtgleichen* ist, indem die Verrückung der Aequinoctialpunkte nach einer Richtung erfolgt, die der Ordnung der Zeichen entgegen ist. Diese Verwechselung läfst sich kaum dadurch einigermafsen entschuldigen, dafs man im gemeinen Leben die Wörter: *Vorrücken* und *Fortrücken* öfters, als gleichgiltig, mit einander verwechselt, so dafs man durch's eine wie durch's andere ein blofses *Vorrücken* andeutet, ohne zu bestimmen, ob die Richtung desselben *vorwärts* oder *rückwärts* gehe. Allein solche Verwechselungen, die im gemeinen Leben tadelhaft sind, sollten in Wissenschaften, besonders in solchen, die sonst durchgängig das Gesetz beobachten, jedes Wort in seiner eigentlichen, und immer nur in einerley Bedeutung zu gebrauchen, schlechterdings nicht aufgenommen werden.

verdankt, hat in der Neigung des Aequators gegen die Ekliptik, und in dem Vorrücken der Nachtgleichen kleine periodische Ungleichheiten bemerken lassen. Bradley, welcher sie entdeckt, und mehrere Jahre hindurch mit der äufsersten Sorgfalt verfolgt hat, hat es auch so weit gebracht; das Gesetz derselben zu bestimmen, welches sich auf folgende Art darstellen läfst.

Man gedenkt sich den Pol des Aequators in gleichförmiger Bewegung auf der Peripherie einer kleinen Ellipse, die die Himmelskugel berührt, und deren Mittelpunkt, den man als den mittleren Pol des Aequators betrachten kann, gleichförmig jedes Jahr 155″,09 des Parallelkreises der Ekliptik beschreibt, auf welchem er liegt. Die grofse Achse dieser Ellipse, die immer den Breitenkreis berührt, und in seiner Ebene liegt, mifst einen Winkel von ohngefähr 62″,2, und die kleine Achse mifst einen Winkel von 46″,3. Die Lage des wahren Pols des Aequators auf dieser Ellipse wird auf folgende Art bestimmt. Man gedenkt sich auf der Ebene der Ellipse einen kleinen Kreis, der mit ihr einerley Mittelpunkt hat; und dessen Durchmesser ihrer grofsen Achse gleich ist;

man gedenkt sich ferner einen Halbmesser dieses Kreises in gleichförmiger, aber rücklaufiger, Bewegung, so dafs dieser Halbmesser allemal mit der der Ekliptik am nächsten liegenden Hälfte der grofsen Achse zusammenfällt, wann der mittlere aufsteigende Knoten der Mondsbahn, mit dem Frühlingspunkte zusammenfällt; endlich fällt man von dem Endpunkte dieses beweglichen Halbmessers ein Loth auf die grofse Achse der Ellipse, so ist der Punkt, wo dieses Loth den Umfang dieser Ellipse trift, der Ort des wahren Pols des Aequators. Diese Bewegung des Pols nennt man die *Nutation*.

. . . . Die Fixsterne behalten, vermöge der eben beschriebenen Bewegungen, beständig einerley Lage unter sich; gleichwohl hat der berühmte Beobachter, dem man die Entdekkung der Nutation verdankt, bey allen diesen Sternen eine allgemeine und periodische Bewegung bemerkt, welche ihre respectiven Lagen ein wenig ändert. Um diese Bewegung sich vorzustellen, mufs man sich einbilden, jeder Stern beschreibe jährlich einen kleinen der Ekliptik parallelen Kreis, dessen Mittelpunkt die mittlere Lage des Sterns ist, und dessen Durchmesser, von der Erde aus

gesehen, einen Winkel von 125″ mißt, und er bewege sich in der Peripherie dieses Kreises wie die Sonne in ihrer Bahn, jedoch so, daſs die Sonne beständig um 100 Grade weiter ist. Die Projection dieses Kreises auf der Oberfläche des Himmels erscheint unter der Gestalt einer mehr oder weniger abgeplatteten Ellipse, nach Verschiedenheit der Höhe des Sterns über der Ekliptik; indem die kleine Achse dieser Ellipse zu ihrer grossen Achse sich verhält, wie der Sinus dieser Höhe zum Radius. Hieraus entstehen alle Veränderungen dieser periodischen Bewegung der Sterne, die man die *Aberration* nennt.

Mehrere Sterne haben eigene Bewegungen, die von jenen allgemeinen unabhängig und ihrer Langsamkeit ungeachtet, durch die Zeitfolge bemerklich geworden sind. Diese führen auf die Vermuthung, daſs alle Sterne ähnliche Bewegungen haben, die sich in den künftigen Jahrhunderten noch entdecken werden. Dergleichen waren bis jetzt, hauptsächlich beym Syrius und Arktur, zwey der glänzendsten Fixsterne, bemerklich.

Zwölftes Kapitel.

Von der Gestalt der Erde, und der Veränderung der Schwere auf ihrer Oberfläche.

Wir wollen vom Himmel auf die Erde zurückkommen, und sehen, was die Beobachtungen uns über ihre Abmessungen und ihre Gestalt gelehrt haben. Wir haben schon gesehen, dafs die Erde sehr nahe kugelförmig ist. Die durchgängig nach ihrem Mittelpunkte gerichtete Schwere erhält die Körper auf ihrer Oberfläche, auf welcher sie vest stehen, ungeachtet sie an diametral entgegengesetzten Orten entgegengesetzte Lagen haben.

Der Himmel und die Sterne erscheinen allezeit über der Erde, denn der Auf- und Untergang bezieht sich blofs auf die Richtung der Schwere.

Von dem Augenblicke an, da der Mensch die Kugelgestalt seines Wohnplatzes kennen lernte, mufste seine Neugierde ihn antreiben, die Abmessungen davon zu bestimmen.

Es ist daher wahrscheinlich, dafs die ersten Versuche über diesen Gegenstand in Zeiten fallen, die viel früher sind, als diejenigen, deren Andenken die Geschichte uns aufbehalten hat, und welche in den physischen und

moralischen Revolutionen, welche die Erde erfahren hat, verlohren gegangen sind. Die Verhältnisse, welche mehrere Maafse des entferntesten Alterthums zu einander und zu der Länge des Erdumkreises haben, stimmen mit dieser Vermuthung überein, und scheinen anzuzeigen, nicht nur, dafs in sehr alten Zeiten dieses Maafs genau bekannt gewesen sey, sondern dafs es einem vollständigen Systeme von Maafsen zur Grundlage gedient habe, wovon man noch Spuren in Aegypten und in Asien findet. Wie dem auch sey, so ist die erste genaue Messung der Erde, wovon wir eine sichere Kenntnifs haben, diejenige, welche Picard in Frankreich gegen das Ende des letztverflossenen Jahrhunderts vollzog, und welche seitdem mehrmals berichtiget wurde.

Man kann sich von dieser Operation leicht eine Vorstellung machen. Wenn man sich nach Norden zu begiebt, so sieht man den Pol sich immer mehr und mehr erheben, die Mittagshöhe der nördlichen Sterne nimmt zu, und die der südlichen ab, ja einige der letztern werden sogar unsichtbar. Den ersten Begriff von der Krümmung der Erde hat man ohne Zweifel der Beobachtung dieser Erscheinungen zu danken, welche in den ersten

Zeiten der Gesellschaft, wo man die Jahrszeiten und ihre Zurückkunft nicht anders als nach dem Auf- und Untergange der vornehmsten Sterne, mit dem der Sonne verglichen, unterscheiden konnte, die Aufmerksamkeit der Menschen nothwendig auf sich ziehen mufsten. Aus dem Auf- und Untergange der Sterne lernt man den Winkel kennen, den die durch die Erdpunkte des über der Erde durchloffenen Bogens gelegten Verticalkreise in dem Punkte, da sie zusammentreffen, einschliefsen. Denn dieser Winkel ist offenbar gleich dem Unterschiede der Mittagshöhen des nämlichen Sterns, weniger dem Winkel, unter welchem man aus dem Mittelpunkte des Sterns den durchloffenen Raum sehen würde, und man hat sich versichert, dafs dieser letztere Winkel unmerklich ist. Es ist also weiter nichts nöthig, als diesen Raum zu messen. Es würde aber langweilig und beschwerlich seyn in einer solchen Ausdehnung unsere Maafsstäbe umzulegen; viel einfacher ist es, die Endpunkte derselben durch eine Reihe von Dreyecken mit den Endpunkten einer Grundlinie von 30 bis 40 tausend Fufs zu verbinden, und durch die Genauigkeit, womit man die Winkel dieser Dreyecke bestim-

men kann, erhält man die Länge von jener sehr genau. Auf diese Art hat man den Bogen des Erdmeridians, der von Dünkirchen bis nach Perpignan durch Frankreich geht, gemessen, und den Theil dieses Bogens, der dem hundertsten Theile des rechten Winkels zugehört, und von dem mittlern Parallel zwischen dem Pole und Aequator mitten durchschnitten wird, 307945,8 Fuſs gleich gefunden.

Unter allen in sich selbst zurücklaufenden Figuren ist die Kugelgestalt die einfachste, weil sie nur von einem einzigen Elemente, nämlich von der Gröſse ihres Halbmessers abhängt. Die dem menschlichen Geiste natürliche Neigung, an den Gegenständen diejenige Gestalt vorauszusetzen, die er am leichtesten sich vorstellt, veranlaſste ihn daher, der Erde eine Kugelgestalt zu geben. Allein wir müssen die Einfachheit der Natur nicht immer nach der unserer Vorstellungen beurtheilen. Unendlich mannichfaltig in ihren Wirkungen ist die Natur bloſs in ihren Ursachen einfach, und ihre Oekonomie besteht darin, daſs sie vermittelst einer kleinen Anzahl allgemeiner Gesetze, eine groſse Menge oft sehr verwickelter Erscheinungen hervorbringt. Die Figur der Erde ist ein Resultat

solcher Gesetze, welche, weil sie durch tausend Umstände modificirt werden, eine merkliche Abweichung von der Kugelgestalt veranlassen können. Die kleinen, bey der Gröfse der Grade in Frankreich beobachteten Unterschiede zeigten diese Abweichung an, aber die unvermeidlichen Irrthümer der Beobachtungen liefsen über diese merkwürdige Erscheinung noch Zweifel übrig, und die Akademie der Wissenschaften, in welcher diese wichtige Frage mit Lebhaftigkeit behandelt wurde, urtheilte mit gutem Grunde, dafs der Unterschied der Erdgrade, wenn er wirklich Statt hätte, sich hauptsächlich bey der Vergleichung der an dem Aequator und an den Polen gemessenen Grade zeigen müfste. Sie schickte daher einige ihrer Mitglieder an den Aequator selbst, welche dort den Grad des Meridians 306466,2 Fufs gleich, und um 1479,6 Fufs kleiner fanden, als den dem mittleren Parallele zugehörigen Grad. Andere Mitglieder der Akademie begaben sich nach Norden, ohngefähr unter 73°,7 Breite, und der Grad des Meridians wurde daselbst 309987,0 Fufs gleich und um 3520,8 Fufs gröfser, als am Aequator gefunden. So wurde die Zunahme der Meridiangrade vom

Aequator nach den Polen zu durch diese Messungen unwidersprechlich bewiesen, und man erkannte, dafs die Erde nicht genau kugelförmig sey.

Nachdem diese berühmten Reisen der französischen Akademisten die Aufmerksamkeit der Beobachter auf diesen Gegenstand gerichtet hatten, wurden noch mehrere Meridiangrade in Italien, in Deutschland, in Afrika und in Pensylvanien gemessen. Alle diese Messungen stimmen in der Anzeige einer Zunahme der Grade vom Aequator nach den Polen zu überein.

Da die Ellipse nach dem Kreise die einfachste unter den in sich zurücklaufenden krummen Linien ist, so betrachtete man die Erde als einen durch die Umdrehung einer Ellipse um ihre kleine Achse entstandenen Körper. Ihre Abplattung unter den Polen ist nämlich eine nothwendige Folge der beobachteten Zunahme der Meridiangrade vom Aequator nach den Polen zu. Da die Halbmesser dieser Grade in der Richtung der Schwere liegen, so sind sie, nach dem Gesetze des Gleichgewichts der Flüssigkeiten, auf der Oberfläche der Meere, womit die Erde grofsentheils bedeckt ist, lothrecht. Sie laufen nicht,

wie bey der Kugel, im Mittelpunkt des Ellipsoids zusammen; sie haben weder einerley Richtung noch einerley Gröfse, wie die von diesem Mittelpunkte an die Oberfläche gezogenen Halbmesser, welche sie in allen andern Stellen, aufser dem Aequator und den Polen, schief schneiden. Der Durchschnitt zweyer naher, unter einerley Meridiane liegender Vertikallinien ist der Mittelpunkt des kleinen Erdbogens, den sie einschliefsen. Wäre dieser Bogen eine gerade Linie, so wären diese Vertikallinien parallel, oder sie schnitten sich nur in einer unendlichen Entfernung. Aber in eben dem Maafse, als man ihn krümmt, schneiden sie sich in einer so viel geringern Entfernung, als seine Krümmung gröfser wird. Da nun der Endpunkt der kleinen Achse der Punkt ist, wo die Ellipse der geraden Linie sich am meisten nähert, so ist der Halbmesser des Grads am Pole, und folglich dieser Grad selbst der beträchtlichste von allen. Umgekehrt verhält es sich am Ende der grofsen Achse der Ellipse, am Aequator, wo die Krümmung am gröfsten und der Grad des Meridians am kleinsten ist. Geht man vom zweyten dieser Endpunkte nach dem ersten zu, so wachsen die Grade,

und wenn die Ellipse nur wenig abgeplattet ist, so ist ihre Zunahme sehr nahe dem Quadrate des Sinus der Polhöhe über dem Horizonte proportionirt.

Das Maafs zweyer Grade des Meridians ist hinreichend, um die beyden Achsen, der beschreibenden Ellipse, und mithin die Figur der Erde, vorausgesetzt, daſs diese elliptiſch sey, zu bestimmen.

Wenn diese Voraussetzung in der Natur wirklich Statt hat, so muſs man, wenn man die in Frankreich, am Nordpole und am Aequator gemessenen Grade paarweise mit einander vergleicht, ohngefähr einerley Verhältniſs zwischen diesen Achsen finden; aber ihre Vergleichung giebt, in dieser Hinsicht, Unterschiede, die man nicht wohl blossen Beobachtungsfehlern zuschreiben kann. Die *Abplattung* eines elliptischen Sphäroids nennt man den Ueberschuſs des Aequatorialdurchmessers über den Polardurchmesser, wenn der letztere für die Einheit angenommen wird.

Nun geben die am Nordpole und in Frankreich gemessenen Grade $\frac{1}{173}$, hingegen die in Frankreich und am Aequator gemessenen $\frac{1}{312}$ für die Abplattung der Erde; die Erde scheint daher von einem Ellipsoide merk-

lich unterschieden zu seyn. Ja man hat sogar Grund zu glauben, dafs sie kein durch Umdrehung (einer Ebene um eine Achse) entstandener Körper sey, und dafs ihre beyden Hälften auf beyden Seiten des Aequators einander nicht gleich seyen. Der auf dem Vorgebürge der guten Hoffnung, unter der südlichen Breite von 37°,00 gemessene Grad, wurde 307999,8 Fufs gleich, also sehr nahe eben so grofs, wie in Frankreich, unter dem Parallele von 50°, gefunden; auch war er gröfser als der in Pensylvanien, unter der Breite von 43°,56 gemessene Grad, dessen Länge nur 307195,2 Fufs betrug. Der auf dem Cap gemessene Grad ist auch noch gröfser, als der in Italien unter der Breite von 47°,80 gemessene, welcher 307686,6 Fufs grofs gefunden wurde. Indessen hätte er kleiner seyn müssen, als alle diese Grade, wenn die Erde ein durch Umdrehung entstandener regelmäfsiger und von zwey gleichen Hälften eingeschlossener Körper wäre. Dieſs alles zusammengenommen, bestimmt uns also zu glauben, dafs sie das nicht sey. Wir wollen nun sehen, wie denn eigentlich die Erdmeridiane beschaffen seyen.

Der

Der Meridian am Himmel, welchen die astronomischen Beobachtungen bestimmen, wird durch eine Ebene beschrieben, die durch die Weltachse und das Zenith des Beobachters geht, weil diese Ebene die Bogen der Parallelkreise, die die Sterne über dem Horizonte beschreiben, halbirt. Alle Oerter der Erde, die ihr Zenith in der Peripherie eines solchen Meridians haben, beschreiben den ihm zugehörigen Erdmeridian. In Ansehung des unermeſslichen Abstandes der Fixsterne kann man die an jedem dieser Oerter errichteten Verticallinien als parallel mit der Ebene des Meridians am Himmel betrachten, und daher von dem Erdmeridiane auch diese Erklärung geben, er sey eine durch die Verbindung der untern Endpunkte aller, der Ebene des Meridians am Himmel parallelen, Verticallinien entstehende krumme Linie. Diese krumme Linie liegt ganz in dieser Ebene, wenn die Erde ein durch Umdrehung entstandener Körper ist; in jedem andern Falle weicht sie davon ab, und ist überhaupt eine von den Linien, welche die Geometer *Curven von doppelter Krümmung* *) genannt haben.

*) Die jetzt folgende Darstellung setzt Kenntnisse der höhern Geometrie voraus, die sich in einer Anmerkung nicht beybringen lassen.

Der Erdmeridian ist nicht genau die Linie, welche die trigonometrischen Messungen in der Richtung des Meridians am Himmel bestimmen. Die erste Seite der gemessenen Linie ist eine Tangente der Erdoberfläche, und der Ebene des Meridians am Himmel parallel. Verlängert man diese Seite, bis sie einer unendlich nahen Verticallinie begegnet, und biegt man sofort diese Verlängerung bis an den untern Endpunkt der Verticallinie, so beschreibt man die andere Seite der Curve, und so fort die übrigen.

Die so gezogene Linie ist die kürzeste, die man auf der Oberfläche der Erde zwischen jeden zwey in dieser Linie angenommenen Punkten ziehen kann; sie liegt nicht in der Ebene des Meridians am Himmel, und fällt nicht mit dem Erdmeridiane zusammen, als in dem Falle, wenn die Erde ein durch Umdrehung entstandener Körper ist; aber der Unterschied zwischen der Länge dieser Linie und der des zugehörigen Bogens vom Erdmeridiane ist so klein, dafs man ihn ohne einen merklichen Irrthum vernachläfsigen kann.

Wie auch die Erdmeridiane beschaffen seyn mögen, so ist schon um der einzigen Ursache willen, weil ihre Grade von den Po-

len nach dem Aequator zu abnehmen, die Erde an den Polen abgeplattet, d. h. ihre Achse ist kleiner als der Durchmesser des Aequators. Um dieſs zu zeigen, wollen wir setzen, die Erde sey ein durch Umdrehung entstandener Körper, und wollen uns den Halbmesser des nördlichen Polargrades vorstellen, und die ganze Reihe aller dieser Halbmesser vom Pole bis zum Aequator, welche, nach der Voraussetzung ununterbrochen abnehmen.

Man übersieht leicht, daſs diese Halbmesser durch ihre auf einander folgenden Durchschnitte, eine krumme Linie beschreiben, welche, nachdem sie anfangs die Achse berührt hat, davon abweicht, indem sie ihr den erhabenen Theil ihrer Krümmung zuwendet, und sich gegen den Pol zu erhebt, bis der Halbmesser des Meridiangrads in eine Lage kommt, die auf der vorigen lothrecht ist; wo er alsdann in der Ebene des Aequators liegt. Wenn man sich nun vorstellt, der Halbmesser des Polargrads sey beweglich, und winde sich allmählig um die Bogen der Curve, die wir so eben betrachtet haben, so wird sein Endpunkt den Erdmeridian beschreiben, und der zwischen dem Meridiane und der Curve eingeschlossene

Theil von ihm wird der dem Meridiangrade zugehörige Halbmesser seyn. Diese Curve nennen die Geometer die *Evolute* des Meridians.

Wir wollen jetzt den Durchschnitt des Aequatorialdurchmessers und der Achse als den Mittelpunkt der Erde betrachten, so ist die Summe der zwey Tangenten, die aus diesem Mittelpunkte, die eine längst der Achse, die andere längst dem Aequatorialdurchmesser, an die Evolute des Meridians gezogen werden, gröfser, als der zwischen ihnen eingeschlossene Bogen der Evolute. Nun ist der aus dem Mittelpunkte der Erde an den Nordpol gezogene Halbmesser gleich dem Halbmesser des Polargrads weniger der ersten Tangente, der Halbmesser des Aequators aber ist gleich dem Halbmesser des Meridiangrads am Aequator, sammt der zweyten Tangente; folglich ist der Ueberschufs des Aequatorialhalbmessers über den Polarhalbmesser gleich der Summe dieser Tangenten, weniger dem Ueberschusse des Halbmessers des Polargrads über den Halbmesser des Aequatorialgrads des Meridians. Dieser letztere Ueberschufs ist selbst der Bogen der Evolute, ein Bogen, der kleiner ist, als die Summe der äussersten Tangenten; folg-

lich ist der Ueberschuſs des Aequatorialhalbmessers über den nördlichen Polarhalbmesser der Erde positiv. Eben zo kann nun gezeigt werden, daſs der Ueberschuſs des Aequatorialhalbmessers über den südlichen Polarhalbmesser der Erde positiv sey; folglich ist die ganze Achse kleiner als der Durchmesser des Aequators, oder, was auf eins hinausläuft, die Erde ist an den Polen abgeplattet.

Betrachtet man jeden Theil des Meridians als einen sehr kleinen Bogen von der Peripherie des ihn berührenden Kreises, so ist leicht, einzusehen, daſs der aus der Erde Mittelpunkte an den einen Endpunkt des dem Pole am nächsten liegenden Bogens gezogene Halbmesser kleiner ist, als der aus dem nämlichen Mittelpunkte an den andern Endpunkt gezogene. Und hieraus folgt, daſs die Erdhalbmesser von den Polen nach dem Aequator zu wachsen, wenn, wie alle Beobachtungen solches zeigen, die Meridiangrade vom Aequator nach den Polen zu wachsen.

Der Unterschied der Halbmesser der Meridiangrade am Pole und am Aequator ist gleich dem Unterschiede der zugehörigen Erdhalbmesser sammt dem Ueberschusse der dop-

pelten Evolute über die Summe der beyden äufsersten Tangenten, welcher Ueberschufs offenbar positiv ist; die Meridiangrade wachsen also vom Aequator nach den Polen zu in einem gröfseren Verhältnisse, als das der Verminderung der Erdhalbmesser ist.

Es ist klar, dafs diese Beweise auch dann noch Statt haben, wenn die beyden Hälften der Erde, die südliche und die nördliche, nicht gleich und ähnlich wären, und es ist leicht, sie auch auf den Fall auszudehnen, wenn die Erde kein durch Umdrehung entstandener Körper wäre.

Man hat von den vornehmsten Oertern Frankreichs auf der Linie, die man als die Mittagslinie der Pariser Sternwarte betrachtet hat, Curven beschrieben, die auf die nämliche Art, wie diese Linie, gezogen wurden, nur mit dem Unterschiede, dafs die erste Seite, die immer die Erdoberfläche berührt, anstatt der Ebene des am Himmel befindlichen Meridians der Pariser Sternwarte parallel zu seyn, auf ihr lothrecht ist. Durch die Länge dieser Curven, und den Abstand der Sternwarte von ihren Durchschnittspunkten mit der Mittagslinie hat man die Lage dieser Oerter bestimmt. Diese Arbeit, die nützlich

ste, die man in der Geographie ausgeführt hat, ist ein Muster, das ohne Zweifel jede aufgeklärte Nation nachzuahmen sich beeifern wird.

Auf solche Art kann man aber nur Gegenstände, die nicht weit von einander entfernt sind, mit einander verbinden; um die respective Lage solcher Oerter, die durch grofse Entfernungen, und durch Meere von einander getrennt werden, zu bestimmen, mufs man zu Beobachtungen am Himmel seine Zuflucht nehmen. Die Kenntnifs dieser Lagen ist einer der gröfsten Vortheile, welche die Astronomie uns verschafft hat. Um dazu zu gelangen, hat man das nämliche Verfahren angewandt, dessen man zur Verfertigung der Sternverzeichnisse sich bediente, indem man sich auf der Erdoberfläche ähnliche Kreise, wie an der Oberfläche des Himmels vorstellte. So geht die Achse des Aequators am Himmel durch die Erdoberfläche in zwey diametralentgegengesetzten Punkten, deren jeder einen von den Weltpolen zu seinem Zenith hat, und die man als die *Erdpole* betrachten kann. Der Durchschnitt des Aequators am Himmel mit der Erdoberfläche ist ein Kreis, den man als den *Erdäquator*

ansehen kann; die Durchschnitte aller Ebenen der Meridiane am Himmel mit eben dieser Oberfläche sind eben so viele krumme Linien, die in den Polen zusammenlaufen, und welche die zugehörigen *Erdmeridiane* vorstellen, unter der Voraussetzung, daſs die Erde ein durch Umdrehung entstandener Körper sey, was man in der Geographie ohne einen merklichen Irrthum annehmen kann. Endlich sind die kleineren, vom Aequator bis an die Pole auf der Erde dem Aequator parallel gezogenen, Kreise die *Erdparallele*, und der Parallel eines jeden Orts gehört mit dem Parallel am Himmel, der durch sein Zenith geht, zusammen.

Die Lage eines Orts auf der Erde wird durch seine Entfernung vom Aequator, oder durch den Bogen des Erdmeridians zwischen seinem Parallel und dem Aequator, und durch den Winkel bestimmt, den sein Meridian mit einem ersten Meridiane einschlieſst, dessen Lage willkührlich ist, und auf welchen man alle übrigen bezieht. Die Entfernung vom Aequator hängt ab von dem Winkel zwischen dem Zenith und dem Aequator am Himmel, und dieser Winkel ist offenbar der Höhe des Pols über dem Horizonte gleich; diese Höhe nennt

man in der Geographie die *Breite*. Die *Länge* ist der Winkel, den der Meridian eines Orts mit dem ersten Meridiane macht, oder der zwischen diesen beyden Meridianen liegende Bogen des Aequators. Sie ist östlich oder westlich, je nachdem der Ort dem ersten Meridiane gegen Morgen oder gegen Abend liegt.

Die Beobachtung der Polhöhe giebt die Breite; die Länge bestimmt man vermittelst einer himmlischen Ercheinung, die unter den Meridianen, deren respektive Lage man sucht, zugleich beobachtet wird. Der Augenblick des Mittags ist nicht der nämliche unter diesen Meridianen; wenn der, von welchem man anfängt die Längen zu rechnen, dem gegen Morgen liegt, für welchen man die Länge sucht, so wird an dem erstern die Sonne früher in den Meridian am Himmel kommen. Wenn z. B. der von den Erdmeridianen eingeschlossene Winkel einen Quadranten zu seinem Maafse hat, so wird der Unterschied zwischen den Augenblicken des Mittags unter diesen Meridianen der vierte Theil des Tages seyn. Gesetzt nun man beobachte unter jedem derselben eine Erscheinung, die für alle Oerter der Erde im nämlichen physischen Augenblicke erfolgt, wie

z. B. den Anfang oder das Ende einer Mondsfinsterniſs oder einer Verfinsterung der Jupiterstrabanten, so wird der Unterschied der Stunden, welche die Beobachter im Augenblicke der Erscheinung zählen werden, zum ganzen Tage sich verhalten, wie der von den beyden Meridianen eingeschlossene Bogen zur ganzen Peripherie. Die Sonnenfinsternisse und die Bedeckungen der Fixsterne vom Monde geben genauere Mittel zur Bestimmung der Längen, wegen der Genauigkeit, womit man den Anfang und das Ende dieser Erscheinungen beobachten kann. Sie erfolgen in der That nicht im nämlichen physischen Augenblicke für alle Oerter der Erde; aber die Elemente der Mondsbewegung sind hinreichend bekannt, um über diesen Unterschied genaue Rechnung zu führen.

Zur Bestimmung der Länge eines Orts ist es nicht nothwendig, daſs die nämliche himmlische Erscheinung zugleich auch unter dem ersten Meridiane beobachtet werde, sondern es ist genug, wenn sie nur noch unter einem andern Meridiane beobachtet wird, dessen Lage gegen den ersten bekannt ist. Indem man so einen Meridian mit dem an-

dern verbunden hat, ist man zur Bestimmung der Lage der entferntesten Punkte auf der Erde gelangt.

Jetzt sind die Längen und Breiten einer grofsen Anzahl von Oertern durch astronomische Beobachtungen bestimmt, grofse Fehler in Absicht auf die Lage und Gröfse der von Alters her bekannten Länder sind verbessert worden, und man hat die Lage neuer Gegenden, zu deren Entdeckung das Interesse der Handlung und die Liebe zu den Wissenschaften Anlafs gegeben hat, vestgesetzt; aber ungeachtet die in den neuesten Zeiten unternommenen Reisen unsere geographischen Kenntnisse beträchtlich vermehrt haben, so ist doch noch viel zu entdecken übrig. Das Innere von Afrika und Amerika enthält unermefsliche, noch ganz unbekannte, Länder, und von vielen andern haben wir nur unzuverläfsige und oft widersprechende Nachrichten, in Ansehung deren die Geographie bis jetzt noch zufälligen Muthmassungen überlassen bleibt, und von der Astronomie neue Aufklärungen erwartet, um die Lage derselben unwiderruflich vestzusetzen.

Vorzüglich ist dem Schiffer, der mitten auf dem Meere keinen Wegweiser hat, als

die Sterne und seine Boussole, daran gelegen, seine Lage, und die der Oerter, wo er anlanden soll, und der Klippen, denen er auf seinem Wege begegnet, zu kennen. Seine Breite kann er durch Sternbeobachtungen leicht kennen lernen. Da aber der Himmel, vermöge seiner täglichen Bewegung, an einem Tage allen Punkten seines Parallels ohngefähr auf die nämliche Art erscheint; so fällt es dem Schiffer schwer, den ihm zugehörigen Punkt vestzusetzen. Um die am Himmel gemachten Beobachtungen zu ergänzen, mifst er seine Geschwindigkeit und die Richtung seiner Bewegung; daraus leitet er seinen Weg nach der Richtung der Parallele her, und indem er diesen mit seinen beobachteten Breiten vergleicht, bestimmt er seine Länge in Ansehung des Orts seiner Abreise. Dieses Verfahren gewährt so wenig Genauigkeit, dafs es ihn Irrthümern aussetzt, die für ihn traurig werden können, wenn er sich den Winden überläfst, in der Nähe von Küsten oder Sandbänken, die er, nach seiner Schätzung, noch entfernt glaubt. Um ihn gegen diese Gefahren sicher zu stellen, beeiferten sich die handelnden Nationen, sobald als die Fortschritte der Künste, und der Astro-

nomie Methoden zur Bestimmung der Längen auf dem Meere hoffen lassen konnten, das Nachdenken der Gelehrten und Künstler durch kräftige Aufmunterungen auf diesen wichtigen Gegenstand zu lenken. Ihre Wünsche wurden erfüllt durch die Erfindung der Seeuhren, und durch die Genauigkeit, zu welcher man die Mondstafeln brachte; zwey Mittel, die schon an und für sich gut sind, aber noch besser werden, wenn sie sich einander gegenseitig zu Hülfe kommen.

Eine in einem Hafen von bekannter Lage richtig gestellte Uhr, die, auf ein Schiff gebracht, den nämlichen Gang behielte, würde jeden Augenblick die Stunde anzeigen, die man in diesem Hafen zählt. Vergliche man diese mit derjenigen, die man auf dem Meere beobachtet, so wäre das Verhältniss des Unterschieds dieser Stunden zum ganzen Tage, wie man gesehen hat, das des Unterschieds der zugehörigen Längen zur ganzen Peripherie.

Aber es war schwer, dergleichen Uhren zu erhalten. Die ungleichen Bewegungen des Schiffs, die Veränderungen der Temperatur, und die unvermeidlichsten, und bey so feinen Maschinen höchst empfindlichen Rei-

bungen waren eben so viele Hindernisse, die sich ihrer Genauigkeit entgegensetzten.

Glücklicherweise hat man es aber doch dahin gebracht, sie zu überwinden, und Uhren zu Stande zu bringen, die mehrere Monate lang einen sehr nahe gleichförmigen Gang behalten, und hierdurch das einfachste Mittel zur Bestimmung der Längen auf dem Meere abgeben; und da dieses Mittel um so viel genauer ist, je kürzer die Zeit ist, in welcher diese Uhren gebraucht werden, ohne ihren Gang zu berichtigen, so sind sie zur Bestimmung der respektiven Lage sehr nahen Oerter sehr nützlich, ja sie haben in dieser Hinsicht sogar einigen Vorzug vor astronomischen Beobachtungen, deren Genauigkeit durch die geringe Entfernung der Beobachter nicht vermehrt wird.

Die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten, die sich häufig wieder erneuern, würden dem Schiffer ein leichtes Mittel darbieten, seine Länge kennen zu lernen, wenn er sie auf dem Meere beobachten könnte; aber die Versuche, die man gemacht hat, um die Schwierigkeiten zu überwinden, welche die Bewegungen des Schiffs dieser Art von Beobachtungen entgegensetzen, waren bis jetzt

fruchtlos. Indessen haben doch die Schiffahrt und Geographie von diesen Verfinsterungen grossen Nutzen gezogen, besonders von denen des ersten Trabanten, deren Anfang und Ende man mit Genauigkeit beobachten kann.

Der Schiffer bedient sich ihrer mit Erfolge, wenn er still liegt; er muſs die wahre Zeit kennen, da die nämliche Verfinsterung, die er beobachtet, unter einem bekannten Meridiane gesehen wurde; weil der Unterschied der Stunden, die man unter den Meridianen im Augenblicke der Beobachtung zählt, den Unterschied ihrer Längen bestimmt. Aber die Tafeln des ersten Jupitertrabanten, die zu unserer Zeit beträchtlich vervollkommnet sind, geben die Augenblicke seiner Verfinsterungen mit einer Genauigkeit, die der der Beobachtungen selbst beynahe gleich kommt.

Die äusserste Schwierigkeit diese Verfinsterungen auf dem Meere zu beobachten, machte es nothwendig, sich an andere himmlische Erscheinungen zu halten, unter welchen die Bewegungen des Monds die einzigen sind, von denen man zur Bestimmung der Längen auf der Erde Gebrauch machen kann. Die Lage des Monds, wie sie

aus dem Mittelpunkte der Erde würde gesehen werden, kann man leicht aus dem Maafse seiner Winkelabstände von der Sonne oder von Sternen herleiten; die Tafeln seiner Bewegung geben sofort die Stunde, die man unter dem ersten Meridiane zählt, wenn man ihn daselbst in der nämlichen Lage beobachtet; und der Schiffer, der diese Stunde mit derjenigen vergleicht, die er im Augenblicke der Beobachtung auf dem Schiffe zählt, bestimmt durch den Unterschied dieser Stunden seine Länge.

Um die Genauigkeit dieser Methode zu schätzen, muſs man erwägen, daſs der von dem Beobachter bestimmte Ort des Mondes, vermöge des Fehlers der Beobachtung, nicht genau mit der von seiner Uhr angezeigten Zeit, und vermöge des Fehlers der Tafeln, nicht genau mit der von denselben angegebenen Zeit unter dem ersten Meridiane zusammengehört; der Unterschied dieser Zeiten ist also nicht derselbe, wie ihn eine fehlerfreye Beobachtung und ganz genaue Tafeln geben würden. Gesetzt, der bey diesem Unterschiede begangene Fehler betrage eine Minute, so gehen in dieser Zeit 40 Minuten des Aequators durch den Meridian, und dieſs

ist

ist also der zugehörige Fehler in der Länge des Schiffs, welcher unter dem Aequator ohngefähr 123000 Fuſs beträgt; unter den Parallelen aber ist er geringer. Ausserdem kann man ihn durch vervielfältigte und mehrere Tage lang wiederholte, Beobachtungen der Abstände des Monds von der Sonne und von Fixsternen, wodurch die Fehler der Beobachtungen und der Tafeln einander gegenseitig aufheben, vermindern.

Man übersieht leicht, daſs die mit den Fehlern der Tafeln und der Beobachtungen zusammengehörigen Fehler in der Länge um so viel geringer sind, je schneller die Bewegung des Gestirns ist. In dieser Hinsicht sind also die Beobachtungen des Monds in der Erdnähe denen in der Erdferne vorzuziehen. Wenn man sich der Bewegung der Sonne bediente, die ohngefähr dreyzehnmal langsamer ist, als die des Monds, so würden die Fehler in der Länge dreyzehnmal gröſser seyn. Hieraus folgt, daſs unter allen Gestirnen der Mond das einzige ist, dessen Bewegung schnell genug ist, um zur Bestimmung der Längen auf dem Meere zu dienen; man sieht also, wie nützlich es war, die Tafeln desselben zu vervollkommnen.

Eine sehr merkwürdige Erscheinung, deren Kenntniſs wir den astronomischen Reisen verdanken, ist die Veränderung der Schwere auf der Oberfläche der Erde; diese sonderbare Kraft beseelt alle Körper an einerley Orte im Verhältnisse ihrer Massen, und ist bestrebt, ihnen in einerley Zeit gleiche Geschwindigkeiten zu ertheilen. Es ist unmöglich, vermittelst einer Waage ihre Veränderungen zu erkennen, weil solche den Körpern, die man wägt, und den Gewichten, womit man sie vergleicht, auf gleiche Art sich mittheilen; aber die Beobachtungen des Pendels sind dazu geeignet, sie bemerkbar zu machen; denn es ist klar, daſs die Schwingungen desselben an Oertern, wo die Schwere geringer ist, langsamer seyn müssen. Dieses Werkzeug, dessen Anwendung bey den Uhren eine der Hauptursachen der Fortschritte der neuern Astronomie war, besteht in einem Körper, der an dem einen Ende eines Fadens oder Stabs, dessen anderes Ende um einen vesten Punkt beweglich ist, aufgehängt wird. Bringt man das Werkzeug ein wenig aus seiner lothrechten Lage, und überläſst es alsdann der Wirkung der Schwere, so macht es kleine Schwingungen, welche, der Ungleichheit der

beschriebenen Bogen ungeachtet, sehr nahe von gleicher Dauer sind. Diese Dauer hängt ab von der Gröfse und Gestalt des aufgehängten Körpers, und von der Masse und Länge des Stabs; aber die Geometer haben allgemeine Regeln gefunden, durch Beobachtung der Schwingungen eines zusammengesetzten Pendels von jeder beliebigen Gestalt die Länge eines Pendels zu bestimmen, dessen Schwingungen eine bekannte Dauer haben, und bey welchem die Masse des Stabs in Ansehung der Masse des Körpers, den man als einen unendlich dichten Punkt betrachtet, gleich Null gesetzt wird.

Auf diefs idealische Pendel, das man das *einfache* nennt, hat man alle an verschiedenen Oertern der Erde mit dem Pendel gemachten Versuche bezogen.

Richer, der im Jahre 1672. von der Akademie der Wissenschaften nach Cayenne geschickt worden war, um daselbst astronomische Beobachtungen anzustellen, fand, dafs seine zu Paris nach der mittlern Zeit gerichtete Uhr zu Cayenne jeden Tag um eine merkliche Gröfse zurückblieb. Diese wichtige Beobachtung gab den ersten directen Beweis von der Verminderung der Schwere an dem

Aequator; sie wurde nachher an sehr vielen Oertern mit grofser Sorgfalt wiederholt, indem man dabey den Widerstand und die Temperatur der Luft mit in Rechnung brachte. Aus allen beobachteten Maafsen des Secundenpendels ergiebt sich, dafs es vom Aequator bis an die Pole, so wie die Meridiangrade, zunimmt, und dafs seine Zunahme, welche unter dem Pole selbst 555 Hunderttausendtheilchen der Schwere am Aequator gleich ist, dem Quadrate des Sinus der Breite proportionirt ist.

Neuerlich hat Borda durch einen sehr genauen Versuch gefunden, dafs die Länge des Secundenpendels auf der Sternwarte zu Paris, auf den leeren Raum gebracht, 2,28386 Fufs grofs ist; daraus folgt, dafs, in Frankreich, unter dem Parallel von 50°, seine Länge 2,28302 Fufs gleich ist. Diese Länge, welche sehr genau ist, und das dem nämlichen Parallel zugehörige Maafs des Meridiangrads werden dazu dienen, unsere Gewichte und Maafse, wenn sie in der Folge der Zeit sich ändern sollten, wieder zu finden.

Vermittelst des Pendels hat man auch noch eine kleine Verminderung der Schwere auf dem Gipfel hoher Berge bemerkt. Bou-

guer hat in Peru eine grofse Anzahl von Versuchen über diesen Gegenstand gemacht und gefunden, dafs die Schwere, die am Aequator und an der Meeresfläche für die Einheit angenommen, zu Quito in einer Höhe von 8796 Fufs über dieser Fläche, 0,999249, und auf dem Gipfel des Pichincha, in einer Höhe von 14604 Fufs, 0,998816 beträgt.

Diese Abnahme der Schwere in Höhen, die gegen den Erdhalbmesser immer sehr klein sind, führt auf die Vermuthung, dafs diese Kraft in grofsen Entfernungen vom Mittelpunkte der Erde beträchtlich abnehme.

Bey Gelegenheit der Pendelbeobachtungen mufs ich die Naturforscher auf die zwey folgenden Gegenstände aufmerksam machen. Der eine ist der kleine Widerstand, den die Körper bey Veränderung ihrer Temperatur der Veränderung ihres Volumens mir schienen entgegenzusetzen; ohngefähr so, wie das Wasser seiner Verwandlung in Eis widersteht, und sich bey einer Temperatur von mehreren Graden unter dem Nullpunkte erhalten kann. Um es alsdann vest zu machen, braucht man nur es zu schütteln. Eben so fand ich, bey den zahlreichen Versuchen, die ich mit Lavoisiers über die Ausdehnung der Kör-

per angestellt habe, nöthig, ihnen zuweilen eine kleine Erschütterung beyzubringen, um sie in den ihrer Temperatur angemessenen Zustand zu versetzen. Der zweyte Gegenstand bezieht sich auf die unveränderlichen Pendeln, deren man sich zur Bestimmung der Unterschiede der Schwere, an verschiedenen Oertern der Erde bedient. Wenn die Pendelstange von Stahl ist, so ist zu besorgen, die Wirkung des Magnetismus der Erde möchte sich mit der Schwere verbinden; und da es bey diesen Versuchen darauf ankommt, auch sehr kleine Gröfsen zu schätzen, so ist es von Wichtigkeit, sich zu versichern, dafs diese Wirkung unmerklich sey.

Da die Beobachtungen des Secundenpendels eine unveränderliche Länge an die Hand geben, die auch zu allen Zeiten leicht wieder gefunden werden kann, so haben sie den Gedanken veranlafst, solches als ein allgemeines Maafs zu gebrauchen. Man kann die ungeheure Menge von Maafsen, die nicht nur bey verschiedenen Völkern, sondern selbst bey der nämlichen Nation üblich sind, ihre eigensinnigen und für die Rechnungen unbequemen Eintheilungen, die Schwierigkeit, sie kennen zu lernen und zu vergleichen,

endlich die Verwirrung und die Betrügereyen, die daraus in der Handlung entspringen, nicht ansehen, ohne die Annahme eines Systems von Maaſsen, deren gleichförmige Eintheilungen sich am leichtesten berechnen lassen, und welches auf die am wenigsten willkürliche Art von einem durch die Natur selbst angezeigten Grundmaaſse herzuleiten ist, als einen der gröſsten Dienste zu betrachten, welche die Wissenschaften und die Regierungen der Menschheit leisten können.

Ein Volk, das ein solches System von Maaſsen annähme, würde mit dem Vortheile, die ersten Früchte davon einzuerndten, auch noch den vereinigen, sein Beyspiel von andern Völkern nachgeahmt zu sehen, deren Wohlthäter es also würde. Denn die langsame, aber unwidersprechliche Herrschaft der Vernunft siegt auf die Länge doch über die Nationaleifersucht, und über alle Hindernisse, die sich der Wohlthat eines allgemein empfundenen Nutzens widersetzen. Dieſs waren die Gründe, welche die constituirende Versammlung bestimmten, die Berichtigung dieses wichtigen Gegenstandes der Akademie der Wissenschaften aufzutragen. Das neue System der Gewichte und Maaſse ist das Resul-

tat der Arbeit ihrer Commissarien, die dabey durch den Eifer und die Einsichten mehrerer Glieder der Nationalversammlung unterstützt wurden.

Die Identität der Rechnung mit Decimalbrüchen und der mit ganzen Zahlen läst keinen Zweifel über die Vortheile der Eintheilung aller Arten von Maafsen in Decimaltheile übrig. Um sich davon zu überzeugen ist es genug, die Schwierigkeit der verwikkelten Multiplicationen und Divisionen mit der Leichtigkeit eben dieser Operationen in ganzen Zahlen zu vergleichen; einer Leichtigkeit, die vermittelst der Logarithmen noch gröfser wird, deren Gebrauch man durch einfache und wohlfeile Werkzeuge äufserst gemeinfaslich machen kann. Man trug defswegen kein Bedenken, die Decimaltheilung anzunehmen, und um Einförmigkeit in das ganze System der Maafse zu bringen, beschlofs man, sie von einerley linearem Maafse und dessen Decimalabtheilungen herzuleiten. So war also die Frage auf die Wahl dieses allgemeinen Maafses, dem man den Namen *Mètre* gab, gebracht.

Die Länge des Pendels und die des Meridians sind die zwey vorzüglichsten Mittel,

welche die Natur darbietet, um die Einheit der linearen Maafse vestzusetzen. Unabhängig von moralischen Revolutionen können beyde nur durch sehr grofse Veränderungen in der natürlichen Beschaffenheit der Erde eine merkliche Veränderung erleiden. Das erstere Mittel verstattet zwar einen leichten Gebrauch, hat aber die Unbequemlichkeit, das Maafs der Entfernung von zwey einander ungleichartigen Elementen, nämlich von der Schwere und der Zeit, deren Eintheilung überdiefs willkührlich ist, abhängig zu machen. Man bestimmte sich also für das zweyte Mittel, welches in dem höchsten Alterthume schon gebraucht worden zu seyn scheint; so natürlich ist es dem Menschen, die Wegmaafse auf die Ausmessungen seines Wohnplatzes selbst zu beziehen, so dafs, wenn er sich auf demselben von einem Orte zum andern begiebt, er durch die bloſse Benennung des durchloffenen Raums das Verhältnifs dieses Raums zum ganzen Umkreise der Erde erkennt. Dabey erhält man noch den Vortheil, die nautischen Maafse mit den himmlischen in Uebereinstimmung zu bringen. Oft hat der Schiffer nöthig, eins durch das andere zu bestimmen, den Weg, den er beschrieben

hat, und den Bogen am Himmel zwisc
dem Zenith des Orts seiner Abreise, und
sen, wo er angelangt ist; es ist daher
Wichtigkeit, dafs das eine dieser Maafse,
auf den Unterschied ihrer Einheiten, ein
druck des andern sey. Dazu aber wird
fordert, dafs die Grundeinheit der linea
Maafse ein aliquoter Theil des Erdmerid
sey, der einer der Abtheilungen der Peri
rie zugehört; so wurde die Wahl des M
auf die der Einheit der Winkel zurückgefü

Der rechte Winkel ist die Gränze
Neigungen einer Linie gegen eine Ebe
und der Höhe der Gegenstände über dem
rizonte. Ueberdiefs entstehen im ersten Q
dranten die Sinus, und überhaupt alle tri
nometrischen Linien, deren Verhältnisse
gen den Halbmesser in Tafeln gebracht s
Es war daher natürlich, den rechten Win
für die Einheit der Winkel, und den Q
dranten für die Einheit ihrer Maafse an
nehmen. Man theilte sie in Decimalthei
und um übereinstimmende Maafse auf
Erde zu erhalten, theilte man auch den Q
dranten des Erdmeridians in eben sol
Theile, was schon in sehr alten Zeiten
schehen war. Denn die Erdmessung, wel

Aristoteles anführt, und deren Ursprung unbekannt ist, giebt dem Quadranten des Meridians 160000 Stadien. Es kam also nur darauf an, seine Länge genau zu erhalten. Hier boten sich nun mehrere Fragen dar, die bey der Unwissenheit, worin wir in Absicht auf die wahre Gestalt der Erde uns befinden, unbeantwortlich sind. Ist die Erde ein durch Umdrehung entstandenes Sphäroid? Sind ihre beyden Hälften auf beyden Seiten des Aequators einander gleich und ähnlich? Was ist das Verhältniſs eines unter einer gegebenen Breite gemessenen Bogens vom Meridiane zum ganzen Meridiane? Bey den natürlichsten Hypothesen über die Beschaffenheit des Erdsphäroids ist der Unterschied der Meridiane unmerklich, und der Decimalgrad, durch den mittleren Parallel zwischen dem Nordpole und Aequator mitten durchschnitten, ist der hundertste Theil des Meridianquadranten. Der Irrthum dieser Hypothesen, wenn einer dabey sich findet, kann nur auf die geographischen Entfernungen einen Einfluſs haben, wo er von keiner Wichtigkeit ist. Man konnte daher die Gröſse des Meridianquadranten aus der Gröſse des Bogens, der von Dünkirchen bis an die

Pyrenäen durch Frankreich geht, und von den französischen Akademisten sorgfältig gemessen worden ist, schliefsen. Da aber eine neue mit noch genaueren Hülfsmitteln unternommene Messung eines gröfsern Bogens ein Interesse zum Vortheile des neuen Systems der Maafse erzeugen mufs, das zur Ausbreitung desselben wirksam ist, so beschlofs man, den Bogen des Erdmeridians zwischen Dünkirchen und Barcellona zu messen. Und damit die französische Nation der Vortheile dieses neuen Systems sogleich geniefsen möchte, so bediente man sich unterdessen provisorisch der früher vollzogenen Messungen, und nachdem man die Länge des Meridianquadranten daraus hergeleitet hatte, so nahm man den zehnmillionsten Theil dieser Länge für das Mètre, oder für die Einheit der linearen Maafse an. Der nächst höhere Decimaltheil war zu grofs, der nächst niedrigere zu klein befunden worden. Das Mètre aber, dessen Länge 3,079458 Fufs grofs ist, ersetzt auf eine vortheilhafte Art zwey unserer gebräuchlichsten Maafse, die Toise und die Elle.

Um die Länge des Mètre bey ihrer Richtigkeit zu erhalten, hat die Nationalver-

sammlung beschlossen, dafs ein nach den Versuchen und Beobachtungen der Commissarien, denen die Bestimmung derselben aufgetragen war, verfertigter und berichtigter Maafsstab bey dem gesetzgebenden Ausschusse niedergelegt würde. Ausserdem wird diese Länge mit der des Pendels auf eine so genaue Art in Verbindung gebracht werden, dafs es leicht seyn wird, sie zu jeder Zeit wieder zu finden; ohne dafs man nöthig hätte, wieder zu der Messung des grofsen Bogens, der sie gegeben hatte, zurückzugehen. Und in dieser Absicht wurde die Länge des Secundenpendels aufs neue durch **Borda** auf der Sternwarte zu Paris gemessen.

Alle Maafse ergeben sich auf die einfachste Art aus dem Mètre. Die linearen Maafse sind Vielfache und Decimaltheile davon.

Die Einheit der Flächenmaafse für Grundstücke ist ein Quadrat, dessen Seite zehen Mètres grofs ist; man nennt es *Are*.

Ein dem Würfel des Mètre gleiches und insbesondere für das Brennholz bestimmtes Maafs hat man *Stère* genannt.

Die Einheit der hohlen Maafse (die das zu messende in ihren Raum aufnehmen) ist

der Würfel von dem zehnten Theile des Mètre, dem man den Namen *Litre* gegeben hat.

Die Einheit der Gewichte, die man *Gramme* genannt hat, ist das absolute Gewicht des Würfels vom hundertsten Theile des Mètre in destillirtem Wasser, und bey der Temperatur des schmelzenden Eises. Man hat das Wasser vorgezogen als eine der gleichartigsten Substanzen, und als diejenige, die man am leichtesten in den Stand der Reinheit bringen kann; und man hat es auf die Temperatur des schmelzenden Eises, als auf den vestesten und von den Modificationen der Atmosphäre unabhängigsten Grad der Temperatur bezogen.

Da alle Maase beständig mit dem Pfunde, der Münze, verglichen werden, so war es besonders wichtig, dieses in Decimaltheile zu theilen. Man gab ihm den Namen *Franc d'argent*; seinen zehnten Theil nannte man *décime*, und seinen hundertsten Theil *centime*.

Um die Berechnung des in den Münzen enthaltenen feinen Goldes und Silbers zu erleichtern, hat man die Vermischung auf den zehnten Theil ihrer Gewichte vestgesetzt, und das Gewicht des Franc dem von fünf Grammes gleich gemacht. So sind die Mün-

zen genaue Vielfache von der Einheit des Gewichts, was für die Handlung nützlich ist.

Endlich schien die Gleichförmigkeit des ganzen Systems der Gewichte und Maafse zu fordern, dafs der Tag in zehn Stunden, die Stunde in hundert Minuten, die Minute in hundert Secunden u. s. w. getheilt würde. Diese Eintheilung des Tags, welche den Astronomen nothwendig wird, ist minder vortheilhaft in dem bürgerlichen Leben, wo man wenig Gelegenheiten hat, die Zeit als Multiplicator oder Divisor zu gebrauchen. Die Schwierigkeit, sie an den grofsen und kleinen Uhren anzubringen, und die Handelsverhältnisse, in welchen wir in Ansehung der Uhren mit den Fremden stehen, haben Veranlassung gegeben, ihre Einführung auf unbestimmte Zeit auszusetzen. Es ist indessen zu glauben, dafs doch auf die Länge die Decimaleintheilung des Tags seine jetzige Abtheilung, welche gegen die Eintheilungen der übrigen Maafse gar zu sehr absticht, als dafs man sie nicht abschaffen sollte, verdrängen werde.

Dieſs ist das neue System der Gewichte und Maafse, welches die Gelehrten der Nationalversammlung vorgeschlagen haben, die

sich dann beeifert hat, ihm gesetzliche Kraft zu geben. Dieses auf das Maafs der Erdmeridiane gegründete System ist allen Völkern gleich angemessen. Es hat keine Beziehung auf Frankreich, als durch den Bogen des Meridians, der durch dasselbe hingeht; aber die Lage dieses von dem mittleren Parallel durchschnittenen Bogens, dessen Enden in zwey Meeren stehen, ist so vortheilhaft, dafs die Gelehrten aller Nationen, wenn man sie vereiniget hätte, um ein allgemeines Maafs festzusetzen, keine andere Wahl getroffen haben würden. Man darf also wohl hoffen, dafs dieses neue System einst allgemein werde angenommen werden.

Dreyzehntes Kapitel.

Von der Ebbe und Fluth des Meeres.

Obgleich die Erde sammt den Gewässern, die sie bedecken, schon lange den Zustand annehmen mufste, der dem Gleichgewichte der sie belebenden Kräfte angemessen ist; so ändert sich doch die Gestalt des Meeres jeden Augenblick des Tages durch regelmäfsige und perio-

periodische Schwingungen, die unter dem Namen der Ebbe und Fluth des Meeres bekannt sind. Es ist in der That eine erstaunenswürdige Sache, bey Windstille und heiterem Himmel die lebhafte Bewegung dieser grofsen Wassermasse zu sehen, deren Wellen sich mit Ungestümme an den Ufern brechen.

Dieses Schauspiel ladet zum Nachdenken ein, und erweckt das Verlangen, in die Ursache davon einzudringen; aber um sich dabey nicht in leere Hypothesen zu verirren, mufs man vor allem die Gesetze dieser Erscheinung kennen lernen, und sie bis in die kleinsten Umstände verfolgen.

Im Anfange dieses Jahrhunderts machte man, auf den Antrag der Akademie der Wissenschaften, in unsern Häfen eine grofse Anzahl von Beobachtungen über die Ebbe und Fluth des Meeres; sie wurden zu Brest sechs Jahre nach einander täglich fortgesetzt, und machen durch ihre Anzahl und durch die Gröfse und Regelmäfsigkeit der Ebbe und Fluth in diesem Hafen die vollständigste und nützlichste Sammlung ihrer Art aus. Da tausend zufällige Ursachen den Gang der Natur bey diesen Erscheinungen abändern können, so ist es nothwendig, eine grofse

Anzahl von Beobachtungen auf einmal zu betrachten, damit die Wirkungen der vorübergehenden Ursachen einander wechselsweise aufheben, und die mittleren Resultate nur die regelmäfsigen oder beständigen Wirkungen gewahr nehmen lassen. Man mufs ferner durch eine geschickte Verbindung der Beobachtungen, die Erscheinungen, die man bestimmen will, herauszubringen suchen, und sie von den übrigen absondern, um sie besser kennen zu lernen.

Durch eine solche Bearbeitung der Beobachtungen kam ich auf folgende Resultate, die keinen Zweifel übrig lassen.

Das Meer steigt und fällt zweymal in jedem Zeitraume zwischen zwey auf einander folgenden oberen Durchgängen des Monds durch den Meridian. Die mittlere Zwischenzeit dieser Durchgänge ist 1,035050 Tag, folglich die mittlere Zwischenzeit zwischen zwey auf einander folgenden Erscheinungen der vollen See 0,517525 Tag, so dafs es Sonnentage giebt, an welchen man nur eine Ebbe und Fluth beobachtet. Der Augenblick der tiefen See theilt diese Zwischenzeit ohngefähr in gleiche Theile, indessen gebraucht das Meer zu Brest neun oder zehn Minuten

weniger zum Steigen als zum Fallen. Auch bey der Ebbe und Fluth ist, wie bey allen Gröfsen, die eines Gröfsten oder Kleinsten fähig sind, das Wachsthum und die Abnahme in der Nähe dieser Gränzen dem Quadrate der von der hohen oder tiefen See an verflossenen Zeit proportionirt.

Die Höhe der vollen See ist nicht beständig die nämliche; sie ändert sich jeden Tag, und ihre Veränderungen haben eine sichtbare Beziehung auf die Mondsphasen; sie ist am gröfsten gegen die Zeit der Voll- und Neumonde, hierauf nimmt sie ab, und wird am kleinsten um die Zeit der Quadraturen. Zu Brest hat die höchste Fluth nicht im Tage der Syzygien selbst, sondern anderthalb Tage nachher Statt, so dafs, wenn einmal die Conjunction oder Opposition im Augenblicke der vollen See einfällt, die dritte Fluth, die auf diese folgt, die höchste ist. Eben so, wenn die Quadratur auf den Augenblick der vollen See fällt, ist die dritte Ebbe, die auf diese folgt, die kleinste. Diese Erscheinung beobachtet man beynahe auf gleiche Art in allen Häfen Frankreichs, obschon die Stunden der Ebbe und Fluth in denselben sehr verschieden sind.

Je mehr das Meer zur Zeit der vollen See steigt, desto mehr sinkt es wieder bey der folgenden tiefen See. Wir wollen die halbe Summe der Höhen zweyer auf einander folgenden vollen Fluthen über der waagrechten Fläche der zwischeneinfallenden tiefen See die *totale Fluth* nennen. Der mittlere Werth dieser totalen Fluth ist zu Brest in seinem Maximum gegen die Syzygien 18,13 Fuſs, und in seinem Minimum gegen die Quadraturen 8,671 Fuſs.

Die Entfernung des Monds von der Erde hat auf die Gröſse der totalen Fluthen einen sehr merklichen Einfluſs. Unter übrigens gleichen Umständen wachsen und nehmen sie ab mit dem Durchmesser und der Parallaxe des Monds, aber in einem gröſseren Verhältnisse. Wenn dieser Durchmesser um ein Achtzehnteil wächst, so wächst die totale Fluth um ein Achtel gegen die Syzygien, und ohngefähr um ein Viertel gegen die Quadraturen; und da diese Fluth im ersten Falle ohngefähr zweymal kleiner ist, als im andern, so ist ihre Zunahme in diesen beyden Fällen gleich.

Da die gröſste Veränderung des Monddurchmessers sowohl über als unter seinem

mittleren Werth; ohngefähr ein Fünfzehntel dieses Werths beträgt, so ist die zugehörige Veränderung der totalen Fluth in den Syzygien $\frac{1}{20}$ ihrer mittleren Gröfse, oder ohngefähr 2,72 Fufs, folglich ist die ganze Wirkung der Veränderung der Entfernung des Monds von der Erde auf die totalen Fluthen 5,44 Fufs.

Die Veränderungen des Abstands der Sonne von der Erde haben zwar auch einen Einfluſs auf die Fluthen, aber dieser ist bey weitem nicht so merklich. Unter übrigens gleichen Umständen sind im Winter, wenn die Sonne uns am nächsten ist, die Fluthen in den Syzygien gröfser, und in den Quadraturen kleiner, als im Sommer, wenn die Sonne am weitesten von der Erde entfernt ist.

Die Abweichungen der Sonne und des Monds haben einen merkwürdigen Einfluſs auf die Fluthen. Sie vermindern die totalen Fluthen der Syzygien, und diese Fluthen sind zu Brest in den Sonnenwenden ohngefähr $2\frac{1}{2}$ Fufs kleiner, als in den Nachtgleichen; auch die totalen Fluthen der Quadraturen sind in den Nachtgleichen um die nämliche Gröfse kleiner, als in den Sonnenwenden.

Hauptsächlich gegen die Maxima und Minima der totalen Fluthen ist es wichtig, das Gesetz ihrer Veränderung kennen zu lernen. Wir haben gesehen, dafs zu Brest der Augenblick ihres Maximums 1 ½ Tage auf die Syzygien folgt. Die Verminderung der totalen Fluthen, welche in der Nähe davon einfallen, ist dem Quadrate der von diesem Augenblicke an bis zu dem der zwischeneinfallenden tiefen See, auf welche die totale Fluth sich bezieht, verflossenen Zeit proportionirt, und beträgt 0,328 Fufs, wenn diese Zeit einen Mondstag ausmacht.

In der Nähe von dem Augenblicke des Minimums, welcher 1 ½ Tage auf die Quadratur folgt, ist die Zunahme der totalen Fluthen dem Quadrate der von diesem Augenblicke an verflossenen Zeit proportionirt; sie ist beynahe doppelt so grofs, als die Verminderung der totalen Fluthen gegen ihr Maximum zu.

Die Abweichungen der Sonne und des Monds haben einen sehr merklichen Einfluſs auf diese Veränderungen. Die Verminderung der Fluthen gegen die Syzygien der Sonnenwenden beträgt nicht mehr als ohngefähr ¾ von der zugehörigen Verminderung gegen

die Syzygien der Nachtgleichen. Die Zunahme der Fluthen gegen die Quadraturen ist ohngefähr zweymal gröfser in den Nachtgleichen, als in den Sonnenwenden.

Man bemerkt auch noch zwischen den Fluthen des Morgens und des Abends kleine Unterschiede, welche von den Abweichungen der Sonne und des Monds abhangen, und verschwinden, wenn diese Gestirne im Aequator stehen. Um sie kennen zu lernen, mufs man die Fluthen des ersten und zweyten Tags nach den Syzygien oder den Quadraturen vergleichen, weil die Fluthen, welche alsdann dem Maximum oder dem Minimum sehr nahe sind, von einem Tage zum andern sich sehr wenig ändern, und den Unterschied zweyer Fluthen des nämlichen Tages leicht gewahr nehmen lassen. Auf solche Art findet man, dafs zu Brest in den Syzygien der Sommersonnenwenden die Morgenfluthen des ersten und zweyten Tags nach den Syzygien um 0,563 Fufs kleiner sind, als die Abendfluthen; dafs sie hingegen in den Syzygien der Wintersonnenwenden um eben so viel gröser sind. Eben so sind in den Quadraturen der Herbstnachtgleiche die Morgenfluthen des ersten und zweyten Tags nach der Quadratur

um 0,419 Fuſs gröſser, als die Abendfluthen aber in den Quadraturen der Frühlingsnachtgleiche um eben so viel kleiner.

Dieſs sind im Allgemeinen die Erscheinungen, welche die Höhen der Fluthen in unsern Häfen zeigen. Die Zwischenzeiten derselben bieten andere Erscheinungen dar, welche wir jetzt entwickeln wollen.

Wenn zu Brest das volle Meer im Augenblicke der Syzygien Statt hat, so folgt es 0,14763 Tag auf den Augenblick der wahren Mitternacht, oder des wahren Mittags, je nachdem es des Morgens oder des Abends einfällt. Diese Zwischenzeit, welche selbst in sehr nahen Häfen sehr verschieden ist, nennt man die *Einrichtung des Hafens* (*établissement du port*), weil man von ihr ausgeht, um die Stunden der Fluthen in Beziehung auf die Mondsphasen zu bestimmen, wie ich solches bey Gelegenheit der Untersuchung der Ursache der Ebbe und Fluth zeigen werde. Die volle See, welche zu Brest im Augenblicke der Quadraturen Statt findet, folgt auf den Augenblick der wahren Mitternacht oder des wahren Mittag 0,35698 Tag.

In den Syzygien erfolgt die Fluth für jede Stunde, um welche sie vor oder nach der Conjunction oder Opposition einfällt, um 264″ früher oder später; in den Quadraturen hingegen erfolgt die Fluth für jede Stunde, um welche sie vor oder nach der Quadratur einfällt, um 416″ früher oder später.

Die Stunden der Fluthen in den Syzygien oder Quadraturen ändern sich mit den Entfernungen der Sonne und des Monds von der Erde, und besonders mit den Entfernungen des Monds.

In den Syzygien beschleunigt oder verspätet jede Minute des Wachsthums oder der Abnahme in dem scheinbaren Halbmesser des Monds die Stunde der vollen See um 354″. Diese Erscheinung hat auf gleiche Art auch in den Quadraturen Statt, aber sie ist dreymal kleiner.

Die Abweichungen der Sonne und des Monds haben einen gleichen Einfluſs auf die Stunden der Fluthen in den Syzygien und Quadraturen. In den Syzygien der Sonnenwenden fällt die Stunde der vollen See ohngefähr um 2 Minuten früher, in den Syzygien der Nachtgleichen aber um eben so viel später ein. Im Gegentheile fällt in den Quadra-

turen der Nachtgleichen die Stunde der Fluth ohngefähr um 8 Minuten früher, in den Quadraturen der Sonnenwenden aber um ebensoviel später ein.

Wir haben gesehen, daſs die Verspätung der Fluthen von einem Tage zum andern in ihrem mittlern Zustande 0,03505 Tag beträgt, so daſs, wenn die Fluth 0,1 Tag nach der wahren Mitternacht einfällt, sie den folgenden Morgen auf 0,13505 Tag einfallen wird. Aber diese Verspätung ändert sich mit den Mondsphasen; sie ist die kleinste mögliche, gegen die Syzygien, wenn die totalen Fluthen ihr Maximum erreicht haben, und beträgt alsdann nur 0,02708 Tag. Wenn die Fluthen ihr Minimum erreicht haben, oder gegen die Quadraturen, ist sie die gröſste mögliche, und steigt bis auf 0,05150 Tag. Demnach wächst der Unterschied der den Zeiten der Syzygien und der Quadraturen zugehörigen Stunden der Fluthen, welcher nach dem Obigen 0,20935 Tag beträgt, für die nach jenen beyden Phasen auf gleiche Art folgenden Fluthen, und wird, im Verhältnisse zu dem Gröſsten und Kleinsten der Fluthen, ohngefähr einem Viertelstage gleich.

Die Veränderungen der Entfernungen der Sonne und des Monds von der Erde, und besonders die letztern haben auf die Verspätung der Fluthen von einem Tage zum andern einen Einfluſs. Jede Minute des Wachsthums oder der Abnahme in dem scheinbaren Halbmesser des Monds vermehrt oder vermindert diese Verspätung gegen die Syzygien um 256″. Gegen die Quadraturen hat diese Erscheinung auf gleiche Art Statt, aber sie ist alsdann dreymal kleiner.

Die tägliche Verspätung der Fluthen ändert sich auch nach der Abweichung der beyden Gestirne. In den Syzygien der Sonnenwenden ist sie ohngefähr um 158″ gröſser, als in ihrem mittleren Zustande; in den Syzygien der Nachtgleichen ist sie um eben so viel kleiner. Im Gegentheil übertrifft sie in den Quadraturen der Nachtgleichen ihre mittlere Gröſse um 557″, in den Quadraturen der Sonnenwenden aber ist sie um eben so viel kleiner, als diese Gröſse.

So haben die Ungleichheiten der Höhen und der Zwischenzeiten der Fluthen sehr verschiedene Perioden, die einen von einem halben und von einem ganzen Tage, die andern von einem halben und von einem gan-

zen Monate, von einem halben und v
einem ganzen Jahre; andere endlich s
einerley mit denen der Umläufe der Kno
und der Erdnähe der Mondsbahn, deren La
vermöge der Abweichungen des Monds und
ner Entfernungen von der Erde, auf
Fluthen einen Einfluſs hat.

Die Gröſse und überhaupt alle Ersch
nungen der Ebbe und Fluth schienen
in den Neu- und Vollmonden einerley
seyn.

Diese Erscheinungen haben in allen Hä
und an allen Meerufern auf gleiche Art St
Aber die Localumstände, wenn sie schon
den Gesetzen der Fluthen nichts ändern,
ben auf die Gröſse derselben und auf die Z
der Einrichtung des Hafens einen groſ
Einfluſs.

Vierzehntes Kapitel.

*Von der Erdatmosphäre und den astronomis
Stralenbrechungen.*

Eine elastische, dünne und durchsicht
Flüssigkeit umgiebt die Erde, und erhebt s

auf eine grofse Höhe; sie ist schwer, wie alle Körper, und ihr Gewicht hält dem des Quecksilbers im Barometer die Waage. Bey der Temperatur des schmelzenden Eises und bey der mittlern Höhe des Barometers über der Meeresfläche, welche sehr nahe $2\frac{1}{3}$ Fufs beträgt, verhält sich das Gewicht der Luft zu dem eines gleichgrofsen Raums Quecksilber, wie 1 zu 10320. Bey dieser Temperatur braucht man also, um das Barometer, wenn seine Höhe $2\frac{1}{3}$ Fufs ist, um $\frac{1}{100}$ Fufs fallen zu machen, sich nur um 103,20 Fufs zu erheben; und wenn die Dichtigkeit der Atmosphäre durchaus ungleich wäre, so würde ihre Höhe 24080 Fufs betragen. Aber die Luft läfst sich sehr nahe im Verhältnisse der aufgelegten Gewichte zusammendrücken. Daraus folgt, dafs bey gleicher Temperatur ihre Dichtigkeit der Barometerhöhe proportionirt ist. Ihre unteren Schichten sind daher dichter, als die oberen, deren Gewicht jene zusammendrückt; und sie werden immer in eben dem Maafse dünner, als man sich in der Atmosphäre erhebt, und wenn ihre Temperatur die nämliche bleibt, so zeigt eine sehr leichte Rechnung, dafs, während ihre Höhe in arithmetischer Progression wächst, ihre

Dichtigkeit in geometrischer Progression abnimmt. Die in den obern Gegenden der Atmosphäre herrschende Kälte vermehrt die Dichtigkeit der obern Schichten. Denn die Luft wird, wie alle Körper, von der Kälte zusammengezogen und von der Wärme ausgedehnt; und man hat bemerkt, dafs in der Nähe von der Temperatur des schmelzenden Eises die Zunahme der Temperatur von einem Grade den Raumsinhalt derselben ohngefähr um $\frac{1}{250}$ vermehrt.

Von diesen Bestimmungen hat man eine vortheilhafte Anwendung auf die Messung der Höhen der Berge vermittelst des Barometers gemacht.

Wäre die Wärme der Atmosphäre zu jeder Zeit und in ihrer ganzen Ausdehnung der des schmelzenden Eises gleich, so würde daraus folgen, dafs man durch Multiplication des Logarithmen der Tafeln von dem Verhältnisse der auf zwey beliebigen Stationen beobachteten Barometerhöhen mit 55326 Fufs, die Höhe der einen dieser Stationen über der andern erhielte. Aber diese Höhe erfordert eine Berichtigung wegen des Irrthums der Voraussetzung einer gleichförmigen Dichtigkeit und einer dem Nullpunkte gleichen

Temperatur. Man übersieht leicht, daſs, wenn die mittlere Temperatur der zwischen zwey Stationen enthaltenen Luftschichte gröſser, als Null ist, ihre Dichtigkeit kleiner wird, und man sich noch höher erheben muſs, um das Barometer um eben so viel fallen zu machen. Man muſs daher den Multiplicator 55326 Fuſs um $\frac{1}{270}$ desselben so vielmal genommen, vermehren, als man Grade dieser mittleren Temperatur hat. Zu dem Ende beobachtet man auf beyden Stationen die Grade des Thermometers, multiplicirt ihre Summe durch 110,65 Fuſs und addirt das Product zu 55326 Fuſs. Noch muſs man bey den Barometerhöhen eine kleine Berichtigung wegen des Unterschieds der Temperatur der beyden Stationen anbringen. Die Dichtigkeit des Quecksilbers ist nicht an beyden Stationen einerley; nun beträgt seine Ausdehnung für eine Zunahme seiner Temperatur um einen Grad, $\frac{1}{7412}$ seines Volumens; daher muſs man die Barometerhöhe in der kälteren Station um $\frac{1}{7412}$ derselben so vielmal genommen, vermehren, als der Unterschied der Temperatur beyder Stationen Grade hat. Vermittelst dieser Regel erhält man sehr nahe den Unterschied ihrer

Höhen, wenn sie nicht viel von einerley Verticallinie abweichen.

Die Luft ist in kleinen Massen unsichtbar; aber die von allen Schichten der Atmosphäre zurückgeworfenen Lichtstralen verursachen einen merklichen Eindruck, sie machen nämlich, dafs sie uns mit einer blauen Farbe erscheint, welche allen Gegenständen, die wir in der Entfernung gewahrnehmen, ein gleiches Ansehen giebt, und das Azur des Himmels bildet. Dieses blaue Gewölbe, an welchem die Sterne uns angeheftet scheinen, ist demnach uns sehr nahe, und ist nichts anders, als die Erdatmosphäre, jenseits welcher jene Körper in unermefslichen Entfernungen sich befinden. Die Sonnenstralen, welche die Theilchen derselben uns in Menge zusenden, bilden vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne die Morgen- und Abenddämmerung, welche dadurch, dafs sie auf mehr als 20 Grade des Abstands dieses Gestirns sich erstrecken, uns beweisen, dafs die äufsersten Theilchen der Atmosphäre aufs wenigste 250000 Fufs hoch liegen.

Könnte das Auge die Punkte der äufsern Oberfläche der Atmosphäre unterscheiden, und

auf ihre wahren Oerter beziehen, so würden wir den Himmel wie eine kugelförmige Kappe sehen, die durch den von einer die Erde berührenden Ebene abgeschnittenen Theil dieser Oberfläche gebildet würde; und da die Höhe der Atmosphäre in Ansehung des Erdhalbmessers sehr klein ist, so würde uns der Himmel unter der Gestalt eines eingedrückten Gewölbes erscheinen. Allein ob wir gleich die Gränzen der Atmosphäre nicht unterscheiden können, so müssen wir doch, da die Stralen, welche sie uns zusendet, bis zum Horizonte einen längeren Weg zurücklegen, als bis an das Zenith, ihre Ausdehnung nach der ersteren Richtung für gröfser halten. Zu dieser Ursache kommt noch die Stellung der zwischen uns und dem Horizonte liegenden Gegenstände, welche dazu beyträgt, die scheinbare Entfernung desjenigen Theils des Himmels, den wir jenseits derselbigen sehen, zu vergröfsern. Der Himmel mufs uns daher sehr eingedrückt, wie eine kugelförmige Kappe erscheinen. Ein Stern, der ohngefähr 26 Grade hoch steht, scheint uns die Linie, welche der Durchschnitt der Oberfläche des Himmels mit einer lothrechten Ebene vom Zenith bis an den

Horizont bildet, zu halbiren. Daraus folgt, dafs der horizontale Halbmesser des scheinbaren Himmelsgewölbes zum verticalen beynahe wie $3\frac{1}{4}$ zu 1 sich verhält; aber dieses Verhältnifs ändert sich mit den Ursachen dieser Täuschung.

Da die scheinbare Gröfse der Sonne und des Monds dem Winkel, unter welchem sie gesehen werden, und dem scheinbaren Abstande des Punkts am Himmel, auf welchen man sie bezieht, proportionirt ist; so scheinen sie uns am Horizonte gröfser, als am Zenith, ungeachtet sie dort unter einem kleineren Winkel gesehen werden.

Die Lichtstralen bewegen sich in der Atmosphäre nicht in geraden Linien, sondern biegen sich beständig gegen die Erde zu. Der Beobachter, der die Gegenstände nur in der Richtung der Tangente der Curve sieht, die sie beschreiben, sieht sie immer höher, als sie in der That sind, und die Sterne erscheinen selbst dann noch über dem Horizonte, wenn sie schon unter demselben sind. So macht die Atmosphäre, indem sie die Stralen der Sonne krümmt, dafs wir ihre Gegenwart länger genieſsen, und vermehrt die Länge des Tags, welche auch die Morgen-

und Abenddämmerung noch vergröfsern. Es war den Astronomen äufserst viel daran gelegen, die Gesetze und die Gröfse der Stralenbrechung zu bestimmen, um die wahre Lage der Gestirne zu erhalten; ehe ich aber das Resultat ihrer Untersuchungen über diesen Gegenstand darlege, will ich die vorzüglichsten Eigenschaften des Lichts kürzlich erläutern.

Beym Uebergange aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes nähert sich ein Lichtsral dem Lothe auf der Oberfläche, welche die beyden Mittel scheidet, oder entfernt sich von demselben. Das Gesetz seiner Brechung ist dieses, dafs *die Sinus der beyden Winkel, welche seine Richtungen, die eine vor, die andere nach seinem Eintritte in das neue Mittel mit diesem Lothe machen, in einem beständigen Verhältnisse stehen, wie auch immer diese Winkel beschaffen seyn mögen.* Aber das Licht zeigt bey seiner Brechung eine merkwürdige Erscheinung, die uns mit seiner Natur näher bekannt gemacht hat. Ein weifser Lichtstral, der in einem verfinsterten Zimmer aufgefangen wird, bildet nach seinem Durchgange durch ein Prisma ein länglichtes, verschiedentlich gefärbtes

Bild. Dieser Stral ist ein Büschel, der aus einer unbestimmbar grofsen Anzahl Stralen von verschiedenen Farben besteht, welche das Prisma vermöge ihrer verschiedenen Brechbarkeit scheidet. Der am meisten brechbare Stral ist der violette, auf diesen folgt der indig- oder dunkelblaue, dann der hellblaue, dann der grüne, nach diesem der hellgelbe, dann der orange- oder goldgelbe, und endlich der rothe. Ungeachtet wir aber nicht mehr, als sieben Stralen unterscheiden, so beweifst doch die Stetigkeit des Bildes, dafs deren eine unendliche Anzahl vorhanden ist, die sich nach unmerklichen Stufen der Brechbarkeit und der Farbe einander nähern.

Werden alle diese Stralen durch ein Linsenglas wieder vereinigt, so bringen sie die weifse Farbe wieder hervor, welche daher nichts anders ist, als eine Mischung von allen einfachen oder gleichartigen Farben nach bestimmten Verhältnissen.

Wenn ein Stral von einer gleichartigen Farbe von den übrigen wohl abgesondert wird, so verändert er weder seine Brechbarkeit noch seine Farbe, wie auch immer die Zurückwerfungen und Brechungen, die er leidet, beschaffen seyn mögen; seine Farbe

kann also nicht von gewissen Modificationen herrühren, die das Licht in den Mitteln, durch welche es geht, annimmt, sondern sie ist mit seiner Natur verbunden.

Indessen beweifst die Aehnlichkeit der Farbe nicht die Aehnlichkeit des Lichts. Denn wenn man mehrere verschiedentlich gefärbte Stralen des durch das Prisma zerlegten Sonnenbildes mit einander mischt, so kann man eine Farbe erhalten, die einer der einfachen Farben dieses Bildes vollkommen ähnlich ist. So giebt die Mischung der gleichartigen rothen und hellgelben Farbe ein dem gleichartigen Goldgelben dem Scheine nach ähnliches Goldgelb; aber diese gemischten Stralen werden durch die Brechung vermittelst eines neuen Prisma wieder getrennt, und in die zusammensetzenden Farben zerlegt, während die Stralen des gleichartigen Goldgelben unveränderlich bleiben.

Wenn die Lichtstralen auf einen Spiegel fallen, so werden sie zurückgeworfen, und machen mit dem Lothe auf dessen Oberfläche Reflexionswinkel, die den Einfallswinkeln gleich sind.

Die Brechungen und Zurückwerfungen, welche die Sonnenstralen in den Regentropfen

leiden, geben dem Regenbogen seine Entstehung, dessen Erklärung, da sie auf eine scharfe Berechnung sich gründet, und allen besonderen Umständen dieser sonderbaren Erscheinung vollkommen Genüge thut, eins der schönsten Resultate der Physik ist.

Die meisten Körper zerlegen das Licht, das sie auffangen; einen Theil davon schlukken sie ein, einen andern werfen sie unter allen Richtungen zurück; sie erscheinen blau, roth, grün u. s. w. nach der Farbe der Stralen, die sie in gröfster Menge zurücksenden. So wird das weifse Sonnenlicht, indem es sich über die ganze Natur verbreitet, zerlegt, und mit unendlich manchfaltigen Farben in unsere Augen zurückgeworfen.

Nach dieser kurzen Abschweifung über das Licht komme ich wieder auf die astronomischen Stralenbrechungen zurück. Sehr genaue Versuche haben gelehrt, dafs bey gleicher Temperatur die brechende Kraft der Luft wie ihre Dichtigkeit wächst und abnimmt. Aber wechselt diese Kraft bey gleichen Dichtigkeiten, mit der Temperatur? Was für einen Einfluſs hat der hygrometrische Zustand der Luft, und das Verhältnifs,

in welchem die beyden Gasarten, das Stickgas und das Sauerstoffgas (gas azot et oxigène), in der Atmosphäre verbunden sind, auf die Stralenbrechungen? Dieſs ist's, was man noch nicht weiſs, und was, wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes, aufgeklärt zu werden verdient.

Bis jetzt hat man angenommen, die brechende Kraft der Atmosphäre hange nur von der Dichtigkeit ihrer Schichten ab, so daſs es zur Bestimmung der Bahn des Lichts durch dieselbe hinreichend sey, das Gesetz ihrer Temperatur zu kennen; aber dieses Gesetz ist uns unbekannt, und ändert sich ausserdem jeden Augenblick. Unter der Voraussetzung, daſs die Temperatur der Atmosphäre durchaus die nämliche, und der des schmelzenden Eiſses gleich sey, würde die Dichtigkeit ihrer Schichten in geometrischer Progression abnehmen, und die Stralenbrechung am Horizonte 73′ seyn; sie würde aber nur 55′½ betragen, wenn die Dichtigkeit der Schichten der Atmosphäre in arithmetischer Progression abnähme, und an ihrer Oberfläche gleich Null würde. Die horizontale Stralenbrechung, wie man sie beobachtet; nämlich ohngefähr 64′½, ist die mittlere zwischen diesen Gränzen; das

Gesetz der Verminderung der Dichtigkeit der Schichten hält beynahe das Mittel zwischen der geometrischen und arithmetischen Progression, und dieſs stimmt mit den Beobachtungen des Barometers und Thermometers überein. Ueberhaupt kann man alle diese Beobachtungen und die der astronomischen Stralenbrechung vermittelst sehr wahrscheinlicher Hypothesen über die Verminderung der Wärme bey zunehmender Erhebung in der Atmosphäre vereinigen, ohne daſs man nöthig hätte, wie einige Naturforscher gethan haben, zu einer besondern Flüssigkeit seine Zuflucht zu nehmen, die, wenn sie der atmosphärischen Luft beygemischt wäre, die Wirkung hätte, das Licht zu brechen.

Wenn die scheinbare Höhe der Sterne gröſser, als 12 Grade ist, so hängt die Stralenbrechung, so weit man es bemerken kann, bloſs von dem Stande des Barometers und Thermometers an dem Orte des Beobachters ab, und ist der Tangente des um die vierfache Stralenbrechung verminderten scheinbaren Abstandes des Sterns vom Scheitelpunkte sehr nahe proportionirt. Man hat durch verschiedene Mittel gefunden, daſs bey der Temperatur des schmelzenden Eiſses, und bey der

Barometerhöhe von $2\frac{1}{3}$ Fuſs, der Coefficient, der, mit dieser Tangente multiplicirt, die astronomische Stralenbrechung giebt, 183″ ist, aber er ändert sich wie die Dichtigkeit der Luft an dem Orte der Beobachtung. Diese Dichtigkeit aber ändert sich um $\frac{1}{210}$ für einen Grad des Thermometers; man muſs daher diesen Coefficienten um $\frac{1}{210}$ desselben so vielmal genommen, vermindern oder vermehren, als das Thermometer Grade über oder unter dem Nullpunkte anzeigt. Da, bey gleicher Temperatur, die Dichtigkeit der Luft der Barometerhöhe proportionirt ist, so muſs man den so verbesserten Coefficienten auch noch in dem Verhältnisse der beobachteten Barometerhöhe zur Höhe von $2\frac{1}{3}$ Fuſs verändern. Vermittelst dieser Bestimmungen kann man eine Tafel der Stralenbrechungen vom zwölften Grade der scheinbaren Höhe an bis an das Zenith verfertigen, in welchem Raume fast alle astronomischen Beobachtungen gemacht werden. Diese Tafel wird den Vorzug haben, von jeder Hypothese über die Beschaffenheit der Atmosphäre unabhängig zu seyn, und wird auf dem Gipfel der höchsten Berge, wie an der Meeresfläche, dienen können.

Die Atmosphäre schwächt das Licht der Sterne, besonders am Horizonte, wo ihre Stralen einen längern Weg durch sie zu machen haben. Aus Bouguers Versuchen folgt, dafs, wenn man die Stärke (l'intensité) des Lichts eines Sterns bey seinem Eintritte in die Atmosphäre für die Einheit annimmt, seine Stärke, wenn es zum Beobachter gelangt, und der Stern am Zenith steht, bey einer Barometerhöhe von 2 $\frac{1}{3}$ Fufs, auf 0,8123 herunter gebracht ist. Die Höhe der Atmosphäre, wenn sie ihrer ganzen Ausdehnung nach auf die dem Nullpunkte der Temperatur und dem Drucke einer Quecksilbersäule von 2 $\frac{1}{3}$ Fufs zugehörige Dichtigkeit gebracht wird, würde 24080 Fufs seyn. Nun ist es natürlich, zu denken, dafs das Erlöschen eines durch sie gehenden Lichtstrals eben so, wie bey dieser Voraussetzung, erfolge, weil er der nämlichen Anzahl von Lufttheilchen begegnet; folglich bringt eine Luftschichte von der sogenannten Dichtigkeit, und von 24080 Fufs Dicke die Stärke des Lichts auf 0,8123 herunter.

Hieraus läfst sich das Erlöschen des Lichts in einer Luftschichte von gleicher Dichtigkeit und jeder beliebigen Dicke leicht herlei-

ten; denn es ist offenbar, dafs, wenn die Stärke des Lichts bey seinem Durchgange durch eine Schichte von gegebener Dichtigkeit auf ein Viertel gebracht wird, eine gleiche Dicke dieses Viertel auf ein Sechzehntel seines anfänglichen Werths herunterbringen werde. Hieraus sieht man, dafs, wenn die Dicke in arithmetischer Progression wächst, die Stärke des Lichts in geometrischer Progression abnimmt. Ihre Logarithmen folgen also dem Verhältnisse der Dicken, so, dafs man, um den Logarithmen der Tafeln von der Stärke des Lichts, nachdem es eine Luftschichte von jeder beliebigen Dicke durchloffen hat, zu erhalten, — 0,0902835. als den Logarithmen von 0,8123 mit dem Verhältnisse dieser Dicke zu 24080 Fufs multipliciren mufs; und wenn die Dichtigkeit der Luft gröfser oder kleiner, als die vorgenannte ist, so mufs man diese Logarithmen in dem nämlichen Verhältnisse vermehren oder vermindern.

Um die Schwächung des Lichts der Sterne nach dem Verhältnisse ihrer scheinbaren Höhe zu bestimmen, kann man sich vorstellen, der Lichtstral bewege sich in einer durchaus gleich weiten Röhre, und die in dieser Röhre einge-

schlossene Luft auf die vorgenannte Dichtigkeit reduciren. Die Länge der so reducirten Luftsäule wird das Erlöschen des Lichts des Sterns, den man betrachtet, bestimmen. Nun kann man annehmen, vom Scheitelpunkte bis ohngefähr zum zwölften Grade der scheinbaren Höhe seyen die atmosphärischen Schichten merklich eben und parallel, und die Bahn des Lichts geradlinigt; alsdann verhält sich die Dicke einer jeden Schichte in der Richtung des Lichtstrals zu ihrer Breite in lothrechter Richtung, wie die Secante des scheinbaren Abstandes des Sterns vom Scheitelpunkte zum Halbmesser.

Multiplicirt man also diese Secante mit — 0,0902835, und mit dem Verhältnisse der Barometerhöhe zu $2\frac{1}{3}$ Fuſs, so hat man den Logarithmen der Lichtstärke des Sterns. Diese sehr einfache Regel giebt das Erlöschen des Lichts der Sterne auf dem Gipfel der Berge, und an der Meeresfläche, und kann sowohl zur Berichtigung der Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupiterstrabanten, als zur Schätzung der Stärke des Sonnenlichts im Brennpunkte der Brenngläser nützlich seyn. Indessen ist zu bemerken, daſs die in der Luft schwebenden Dünste auf das Erlöschen

entblöfst, uns 12 $\frac{1}{3}$ mal heller erscheinen würde.

Eine horizontale Luftschichte von der Temperatur des Nullpunkts und vom Drucke einer Quecksilbersäule von 2 $\frac{1}{3}$ Fufs müfste 165000 Fufs dick seyn, um das Licht in eben dem Maafse, wie die Atmosphäre der Sonne, zu schwächen. Diefs wäre also die Höhe dieser Atmosphäre, auf die Dichtigkeit dieser Luftchichte gebracht, wenn, bey gleichen Dichtigkeiten, ihre Durchsichtigkeit die nämliche wäre, wie die der Luft; aber diefs ist es eben, was man nicht weifs.

Uebrigens hangen diese Resultate von der Genauigkeit des Bouguerischen Versuchs ab, welcher bey verschiedenen Stellungen der Sonnenscheibe sorgfältig wiederholt zu werden verdient.

Die Schwingungen der Luft bringen die Töne hervor, welche nach der Geschwindigkeit oder Langsamkeit der Schwingungen hohe (aigus) oder tiefe (graves) sind. Wie sie aber immer beschaffen seyn mögen, so ist die Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung die nämliche, und ein starker oder schwacher, tiefer oder hoher Ton durchläuft 896,8 Fufs in einer Secunde.

Die Winde, von dem Zephyr an, bis zu den heftigsten Orcanen, werden von der Luft, die mit mehr oder weniger Geschwindigkeit ihren Ort verändert, hervorgebracht. Bey den heftigsten Sturmwinden beträgt diese Geschwindigkeit 60 bis 80 Fuſs in einer Secunde. Bey den gewöhnlichen Winden aber nur ohngefähr den dritten Theil davon. Ohne Zweifel stört die Ursache, welche das Wasser des Meeres regelmäſsig erhebt, und in der Sonne und dem Monde zu liegen scheint, auch das Gleichgewicht der Atmosphäre, die sie durchlaufen muſs, um auf das Meer zu wirken; aber die daher entstehenden periodischen Winde sind zu schwach, als daſs man sie mitten unter den Bewegungen, welche die Atmosphäre von einer groſsen Anzahl anderer Ursachen erleidet, hätte bemerken können.

Im Schooſse der Atmosphäre bilden sich die Wolken, die Stürme, die Nordlichter, und alle Lufterscheinungen. Die Luft löset das Wasser auf, und diese auflösende Eigenschaft ändert sich mit ihrer Dichtigkeit und mit ihrer Wärme. So löset sich das Wasser wechselsweise in der Atmosphäre auf, und schlägt sich wieder in derselben nieder, vermöge

möge aller der Ursachen, welche die Temperatur und Dichtigkeit der Luft ändern. Das Meerwasser giebt, indem es sich in der Atmosphäre auflöst, das Salz ab, das es enthält; es selbst aber fällt unter der Gestalt des Thaues, des Schnees, des Hagels oder Regens wieder herab, wovon ein Theil durch Berge und Höhen aufgesammelt und durch die Erdschichten durchgeseihet wird, um die Quellen und Flüsse zu bilden, die ihn wieder ins Meer zurückführen.

Die Elektricität öffnet sich nur schwer einen Durchgang durch die Atmosphäre; ihre verschiedenen Schichten sind wesentlich elektrisirt, und scheinen es um so viel mehr zu seyn, je höher sie sind; daher sind die in den oberen Schichten gebildeten Wolken mehr elektrisirt, als die niedrigeren Schichten, in welche sie sich herablassen. Wie es sich aber auch mit dieser Ursache der Elektricität der Wolken verhalten mag, so ist es ausgemacht, dafs der Blitz allemal eine elektrische Entladung zwischen den Wolken und der Erde ist.

Die Luft ist keine gleichartige Substanz; die Erfahrung hat uns bekannt gemacht, dafs sie aus drey Theilen Stickgas und einem Theile Sauerstoffgas zusammengesetzt ist. Die letz-

tere Gasart ist zum Einathmen vorzüglich tauglich, in ihr brennen die Körper mit einem lebhaften Lichte, und sie allein ist zu ihrer Verbrennung nothwendig, so wie zum Athmen der Thiere, von welchem man weifs, dafs es eine langsame Verbrennung und die Quelle der thierischen Wärme ist.

Aufser diesen giebt es noch andere luftförmige Flüssigkeiten, die sich mit der Atmosphäre vermischen, und nach dem Verhältnisse ihrer specifischen Leichtigkeit in ihr erheben. Die leichteste unter diesen Flüssigkeiten ist diejenige, welche man das Wasserstoffgas (gas hydrogène) nennt. Es ist in seiner Reinheit fünfzehn- bis sechzehnmal dünner, als die atmosphärische Luft. Wird es ohngefähr in dem Verhältnisse von 1 zu 6 mit dem Sauerstoffgas verbunden, so bildet es Wasser, welches so wenig ein Element ist, wie man seit langer Zeit geglaubt hat, dafs es sich vielmehr nach Belieben zusammensetzen und zerlegen läfst. Die Zersetzung der Körper in Sümpfen und stehenden Gewässern entwickelt eine grofse Menge Wasserstoffgas, das sich bis an die Gränzen der Atmosphäre erhebt, wo es, wenn es durch natürliche Elektricität entzündet wird, die Stern-

schnuppen, Feuerkugeln und Lichtschweife hervorbringt, die man bey grofser Hitze bemerkt, und die, da sie zuweilen im nämlichen Augenblicke auf sehr grofse Entfernungen gesehen werden, beweisen, dafs ihre Höhe wenigstens 300000 Fufs beträgt. In eine leichte Hülle eingeschlossen erhebt sich das Wasserstoffgas mit den Körpern, die an jene bevestiget werden, bis es einer Schichte der Atmosphäre begegnet, welche dünne genug ist, um darin im Gleichgewichte zu bleiben. Durch dieses Mittel hat der Mensch seine Herrschaft und Gewalt erweitert; er kann sich in die Lüfte aufschwingen, die Wolken durchschiffen, und die Natur in den vorher unzugänglichen oberen Gegenden der Atmosphäre fragen.

Die Atmosphäre läfst das Sonnenlicht ganz frey, die Wärme aber nur schwer durch; sie vermehrt daher die Temperatur auf der Oberfläche der Erde, und vielleicht würde man, ohne den Widerstand, den sie der Zerstreuung der Sonnenwärme entgegensetzt, selbst unter dem Aequator eine ausnehmende Kälte empfinden.

Der Wärme hat man den luftförmigen Zustand der Atmosphäre, dem Drucke der

Atmosphäre aber und der Wärme hat man die Flüssigkeit des Weltmeeres zu verdanken. Um diese Wahrheiten zu bestätigen, wollen wir eine der wichtigsten neuern Entdeckungen über die Wärme mit wenigen Worten darstellen.

Die Natur der Wärme sey beschaffen wie sie immer wolle, so dehnt sie die Körper aus; sie versetzt sie aus dem vesten Zustande in den flüssigen, und verwandelt die flüssigen in Dämpfe. Diese Veränderungen des Zustandes hat man durch besondere Erscheinungen an dem Eise bemerkt, die wir jetzt verfolgen wollen. Wir wollen eine Masse Schnee oder zerstossenes Eis in einem offenen Gefäse betrachten, das der Wirkung einer grossen Hitze ausgesetzt ist. Wenn die Temperatur desselben unter der des schmelzenden Eises ist, so wird das Eis durch neue Zusätze von Wärme allmählig schmelzen; wenn man es aber so lange, bis es zerschmolzen ist, sorgfältig schüttelt, so wird das erhaltene Wasser, beständig die Temperatur des Nullpunkts haben; die durch das Gefäs mitgetheilte Wärme wird an dem Thermometer, das man darein taucht, nicht merklich seyn, sondern gänzlich darauf verwandt werden,

das Eifs flüssig zu machen. In der Folge wird die ferner hinzugesetzte Wärme die Temperatur des Wassers und zugleich das Thermometer erhöhen bis zum Augenblicke des Kochens. Alsdann wird das Thermometer wiederum stille stehen, und die durch das Gefäfs mitgetheilte Wärme lediglich darauf verwandt werden, das Wasser in Dämpfe zu verwandeln, die mit dem kochenden Wasser einerley Temperatur haben werden. Das Wasser, das durch das Schmelzen des Eifses hervorgebracht wird, und die Dämpfe, in welche das kochende Wasser sich verwandelt, verschlucken also im Augenblicke ihrer Bildung eine grofse Menge Wärme, welche wieder erscheint, wenn die Wasserdämpfe in den Zustand des tropfbaren Wassers, und das Wasser in den Zustand des Eifses zurückgeht. Denn wenn die Dämpfe an einem kalten Körper sich verdichten, so theilen sie ihm mehr Wärme mit, als er deren von einem gleichgrofsen Gewichte kochenden Wassers erhalten würde. Und ausserdem weifs man, dafs das Wasser sich im flüssigen Zustande erhalten kann, ungeachtet seine Temperatur mehrere Grade unter dem Nullpunkte ist, aber durch die geringste Erschütterung sich in Eifs verwandelt, und das

Thermometer, das man darein taucht, doch nur auf Null steht, durch die Wärme, welche diese Veränderung entbindet.

Ohne den Druck der Atmosphäre würde das zerschmolzene Eifs sich in Dämpfe verwandeln; aber dieser Druck widersteht der zurückstofsenden Kraft, welche die Wärme den flüssigen Theilchen mittheilt, und erhält das zerschmolzene Eifs in der Gestalt des Wassers, bis die Wärme grofs genug ist, um durch ihre zurückstofsende Kraft den Druck der Atmosphäre zu überwinden. In diesem Augenblicke geräth das Wasser ins Kochen, und löset sich in Dämpfe auf; der Grad der Temperatur des kochenden Wassers wechselt daher mit dem Drucke der Atmosphäre; er ist auf dem Gipfel der Berge kleiner als an der Meeresfläche, und unter der Glocke einer Luftpumpe, wo man die Luft nach Belieben verdünnen und verdichten kann, läfst sich auch die Wärme des kochenden Wassers nach Willkühr vermindern oder vermehren. So macht die Wärme das Meer flüssig und der Druck der Atmosphäre verhindert es, sich in Dämpfe zu verwandeln.

Alle Körper, die wir aus dem vesten Zustande in den flüssigen versetzen können, zeigen ähnliche Erscheinungen, aber die Temperatur, wobey ihr Schmelzen anfängt, ist für jeden derselben sehr verschieden. Quecksilber z. B. wird, wie man sich durch die Erfahrung versichert hat, gegen den 40 Grad unter dem Nullpunkte vest. Es fängt an flüssig zu werden bey eben diesem Grade, es geräth ins Kochen bey der Temperatur von 376 Graden, und bey dem Drucke einer Quecksilbersäule von $2\frac{1}{3}$ Fuſs, so daſs bey diesem Drucke der Atmosphäre der Raum der Temperatur zwischen dem Schmelzen und Kochen, welcher für das Wasser 100 Grade beträgt, für das Quecksilber sich bis auf 416 Grade beläuft.

Es giebt Körper, die gar nicht flüssig werden können, auch durch die gröſsten Grade der Hitze, die wir hervorzubringen vermögen; es giebt aber auch andere, welche die gröſste Kälte, die sie auf der Erde ausstehen, nicht in den vesten Zustand versetzen kann. Von der Art sind die Flüssigkeiten, welche unsere Atmosphäre bilden, und welche, des Drucks und der Kälte, denen man sie unterworfen hat, ungeachtet,

sich doch bis jetzt in Dampfgestalt erhalten haben. Aber ihre Aehnlichkeit mit den luftförmigen Flüssigkeiten, in welche wir durch die Wärme eine grofse Zahl von Substanzen verwandeln, und ihre Verdichtung durch den Druck und die Kälte, lassen nicht daran zweifeln, dafs diese atmosphärische Flüssigkeiten äufserst flüssige Körper seyen, welche eine grofse Kälte in den vesten Zustand verwandeln würde. Um sie in diesen Zustand zu bringen, würde es genug seyn, die Erde von der Sonne zu entfernen, so wie es im Gegentheile, um das Wasser und mehrere andere Körper in unsere Atmosphäre zu treiben, hinreichend seyn würde, sie der Sonne zu nähern. Diese grofsen Abwechselungen haben auf den Kometen, und besonders auf denen Statt, welche in ihrer Sonnennähe der Sonne sehr nahe kommen. Die Nebel, die sie umgeben, und die langen Schweife, die sie nach sich ziehen, sind eine Folge der Verdampfung der Flüssigkeiten auf ihrer Oberfläche; die daraus entstehende Abkühlung mufs die von ihrer Nähe bey der Sonne herrührende ausnehmende Hitze mäfsigen, und die Verdichtung eben dieser Flüssigkeiten, wenn sie sich von der Sonne entfernen,

ersetzt zum Theile wieder die Abnahme der Wärme, die diese Verdichtung zur Folge hat; so dafs die gedoppelte Wirkung der Verdampfung und der Verdichtung der Flüssigkeiten, die Gränzen der gröfsten Wärme und der gröfsten Kälte, welche die Kometen bey jedem ihrer Umläufe erfahren, einander beträchtlich nähert.

Zweytes Buch.

Von den wahren Bewegungen der Himmelskörper.

Hätte der Mensch sich darauf eingeschränkt, blos Thatsachen zu sammeln, so würden die Wissenschaften noch nichts weiter, als eine unfruchtbare Nomenclatur seyn, und er würde niemals die grofsen Gesetze der Natur kennen gelernt haben. Nur durch Vergleichung der Erscheinungen unter einander, und durch das Bemühen, ihre Verhältnisse aufzufassen, ist es ihm gelungen, diese Gesetze, die in ihren manchfaltigsten Wirkungen immer ausgedrückt sind, zu entdekken. Da bot ihm dann die sich enthüllende Natur die Ansicht einer kleinen Zahl allgemeiner Ursachen dar, die der ganzen Menge der beobachteten Erscheinungen die Entstehung geben; er konnte diejenigen bestimmen, welche successive Umstände zum Vor-

scheine bringen müssen, und nachdem er sich versichert hatte, dafs nichts die Verkettung dieser Ursachen mit ihren Wirkungen unterbricht; so richtete er seine Blicke auf die Zukunft, und die Reihe der Begebenheiten, welche die Zeit entwickeln mufs, stellte sich ihm dar. Auf diesem Wege hat sich der menschliche Geist vorzüglich in der Theorie des Weltsystems durch eine lange Reihe glücklicher Bemühungen bis zu dieser Höhe erhoben. Wir wollen versuchen, die Bahn vorzuzeichnen, die er verfolgte, mit Vermeidung der Vorurtheile und der falschen Voraussetzungen, die ihn oft irre geführt haben.

Erstes Kapitel.

Von der Umdrehung der Erde um ihre Achse.

Wenn man über die tägliche Bewegung nachdenkt, welcher alle Himmelskörper unterworfen sind, so erkennt man offenbar das Daseyn einer allgemeinen Ursache, die sie in Bewegung setzt, oder die sie um die Weltachse zu führen scheint. Wenn man

betrachtet, dafs diese Körper unter einander isolirt sind, und in sehr verschiedenen Entfernungen von der Erde stehen, dafs die Sonne und die Sterne viel weiter von ihr entfernt sind, als der Mond, und dafs die Veränderungen der scheinbaren Durchmesser der Planeten grofse Veränderungen in ihren Entfernungen anzeigen, dafs endlich die Kometen den Himmel nach jeder Richtung frey durchlaufen, so wird es einem schwer, sich vorzustellen, dafs einerley Ursache allen diesen Körpern eine gemeinschaftliche Umdrehungsbewegung eindrücke.

Da aber die Sterne sich uns auf einerley Art zeigen, der Himmel mag sie um die als unbeweglich angenommene Erde herumführen, oder die Erde mag sich in entgegesetzter Richtung um sich selbst drehen, so scheint es viel natürlicher, diese letztere Bewegung anzunehmen, und die des Himmels als einen Schein zu betrachten.

Die Erde ist eine Kugel, deren Halbmesser ohngefähr 20 Millionen Fufs beträgt. Die Sonne ist, wie wir gesehen haben, unvergleichbar gröfser; wenn ihr Mittelpunkt mit dem der Erde zusammenfiele, so würde ihr Volumen die Mondsbahn einschliefsen,

und sich noch einmal so weit erstrecken; daraus kann man auf ihre unermeſsliche Gröſse schlieſsen; überdieſs ist sie ohngefähr um 23000 Erdhalbmesser von uns entfernt. Ist es nun nicht unendlich viel einfacher, bey der Kugel, die wir bewohnen, eine Umdrehungsbewegung um sich selbst anzunehmen, als einer so ansehnlichen und so entfernten Masse, wie die Sonne ist, eine so äusserst schnelle Bewegung beyzulegen, als ihr nöthig seyn würde, um in einem Tage sich um die Erde zu drehen? Was für eine unermeſsliche Kraft würde alsdann erforderlich seyn, um sie zu halten, und ihre Centrifugalkraft aufzuwiegen? Bey jedem andern Sterne finden sich ähnliche Schwierigkeiten, welche durch die Umdrehung der Erde sämmtlich gehoben werden.

Wir haben oben gesehen, daſs der Pol des Aequators um den der Ekliptik sich langsam zu bewegen scheine, und daſs das Vorrücken der Nachtgleichen eine Folge davon sey. Wenn die Erde unbeweglich ist, so ist der Pol des Aequators ohne Bewegung, weil er immer mit dem nämlichen Punkte der Erdoberfläche zusammengehört; folglich bewegt sich alsdann die Ekliptik um ihre Pole,

und führt in dieser Bewegung alle Sterne fort. Das ganze System so vieler, durch ihre Gröſsen, ihre Bewegungen und Entfernungen so sehr verschiedener Körper, würde also noch einer allgemeinen Bewegung unterworfen seyn, welche verschwindet, und sich in einen bloſsen Schein auflöst, wenn man annimmt, die Erdachse bewege sich um die Pole der Ekliptik.

Fortgeführt mit einer Geschwindigkeit, die wir mit allen uns umgebenden Gegenständen gemein haben, befinden wir uns in der Lage eines Zuschauers auf einem in Bewegung begriffenen Schiffe. Dieser glaubt sich unbeweglich, und das Ufer, die Berge, und alle auſser dem Schiffe liegenden Gegenstände scheinen ihm sich zu bewegen. Wenn er aber die Ausdehnung des Ufers und der Ebenen, und die Höhe der Berge mit der Kleinheit seines Schiffs vergleicht, so erkennt er, daſs ihre Bewegung ein bloſser Schein ist, den seine wahre Bewegung veranlaſst. Die durch den Himmelsraum verbreiteten zahlreichen Sterne sind in Ansehung der Erde eben das, was das Ufer und die Berge in Ansehung des Schiffs sind; und die nämlichen Gründe, wodurch der

Schiffer sich von der Wirklichkeit seiner Bewegung versichert, beweisen uns die der Bewegung der Erde.

Diese Beweise werden durch die Analogie verstärkt. Man hat nämlich an mehreren Planeten Umdrehungsbewegungen beobachtet, und alle diese Bewegungen sind von Abend nach Morgen gerichtet, wie diejenige, welche der tägliche Umlauf des Himmels bey der Erde anzuzeigen scheint. Jupiter, der viel gröfser ist, als sie, bewegt sich, in weniger, als einem halben Tage, um seine Achse; ein Beobachter auf seiner Oberfläche würde in eben dieser Zeit den Himmel um sich umlaufen sehen; diese Bewegung des Himmels würde indessen nichts mehr, als ein Schein seyn. Ist es nun nicht natürlich, zu denken, dafs es sich mit derjenigen, die wir auf der Erde beobachten, eben so verhalte? Was diese Analogie auf eine auffallende Art bestättiget, ist, dafs die Erde, so wie der Jupiter an ihren Polen abgeplattet ist. Man begreift in der That, dafs die Centrifugalkraft, welche alle Theile eines Körpers von seiner Umdrehungsachse zu entfernen strebt, die Erde an den Polen erniedrigen, und unter dem Aequator erhöhen

mufste. Diese Kraft mufs auch die Schwere an dem Aequator vermindern, und diese Verminderung ist durch die Beobachtungen des Pendels bestättiget. Alles bestimmt uns also anzunehmen, dafs die Erde eine Umdrehungsbewegung um sich selbst habe, und dafs die tägliche Umwälzung des Himmels eine blofse Täuschung sey, die durch diese Bewegung veranlafst wird, und derjenigen ähnlich ist, die uns den Himmel als ein blaues Gewölbe darstellt, an welchem alle Sterne angeheftet sind, und die Oberfläche der Erde als eine Ebene, auf welcher es aufliegt. So hat sich die Astronomie mitten durch die Täuschungen der Sinne in die Höhe geschwungen, und erst, nachdem diese durch eine grofse Zahl von Beobachtungen und Berechnungen zerstreut waren, lernte endlich der Mensch die Bewegungen der Kugel, die er bewohnt, und ihre wahre Lage im Weltraume kennen.

Zwey-

Zweytes Kapitel.

Von der Bewegung der Planeten um die Sonne.

Wir wollen jetzt die Erscheinungen der eigenen Bewegung der Planeten betrachten, und zuerst die Bewegung der Venus, ihren scheinbaren Durchmesser, und ihre Lichtgestalten untersuchen. Wenn sie des Morgens aus den Sonnenstralen hervorzukommen anfängt, so sieht man sie vor dem Aufgange der Sonne sichelförmig erleuchtet, und ihr scheinbarer Durchmesser hat sein Maximum erreicht; alsdann ist sie uns also näher, als die Sonne, und beynahe in Conjunction mit ihr. Ihre Lichtgestalt nimmt zu, und ihr scheinbarer Durchmesser nimmt ab, in eben dem Maafse, als sie sich von der Sonne entfernt. Nachdem sie eine Entfernung von ohngefähr 50 Graden von diesem Gestirne erreicht hat, so nähert sie sich demselben wieder, und zeigt uns immer mehr von ihrer erleuchteten Halbkugel; ihr scheinbarer Durchmesser fährt fort abzunehmen, bis auf den Augenblick, da sie des Morgens sich wieder in den Sonnenstralen verliert. In diesem Augenblicke erscheint uns Venus voll, und ihr scheinba-

rer Durchmesser hat sein Minimum erreicht; sie ist also in dieser Lage weiter von uns entfernt, als die Sonne. Einige Zeit nach diesem Verschwinden erscheint dieser Planet des Abends wieder, und fängt nun in umgekehrter Ordnung die nämlichen Erscheinungen wieder an, welche er vor seinem Verschwinden gezeigt hatte. Seine erleuchtete Halbkugel wendet sich immer mehr und mehr von der Erde weg, seine Lichtgestalt nimmt ab, und zu gleicher Zeit wächst sein scheinbarer Durchmesser in eben dem Maafse, als er sich von der Sonne entfernt. Nachdem er eine Entfernung von ohngefähr 50 Graden von diesem Gestirne erreicht hat, so kehrt er wieder zu demselben zurück, seine Lichtgestalt fährt fort abzunehmen, und sein Durchmesser zu wachsen, bis er sich aufs neue in den Sonnenstralen verliert. Zuweilen sieht man ihn in dem Zeitraume von seinem Verschwinden des Abends bis zu seinem Wiedererscheinen des Morgens unter der Gestalt eines Fleckens sich über die Sonnenscheibe hinbewegen.

Nach diesen Erscheinungen ist es klar, dafs die Sonne ohngefähr im Mittelpunkt der Bahn der Venus liegt, und dafs sie z

nämlilichen Zeit, da sie sich um die Erde bewegt, diese Bahn mit sich fortführt. Dieses Resultat, das sich aus den Beobachtungen der Lichtgestalten und des scheinbaren Durchmessers der Venus ergiebt, erklärt ihre wechselsweise rechtläufige und rückläufige Bewegung in der Länge, und ihre eigensinnige und verwickelte Bewegung in der Breite auf eine so natürliche Art, dafs es unmöglich ist, es in Zweifel zu ziehen.

Merkur zeigt uns die nämlichen Erscheinungen, wie die Venus; folglich ist die Sonne auch ohngefähr im Mittelpunkte seiner Bahn. Diese beyden Planeten begleiten sie bey ihrer Bewegung um die Erde, ohne sich weiter, als bis auf gewisse Gränzen, die von den Winkeln, unter welchen man ihre Bahnen sieht, abhangen, von ihr zu entfernen.

Die Planeten, welche sich von der Sonne auf alle möglichen Winkelabstände entfernen, zeigen uns andere Erscheinungen. Ihre Durchmesser sind bey ihrer Opposition in ihrem Maximum, sie nehmen in eben dem Maafse ab, als sie sich der Sonne nähern; die Erde ist also nicht in dem Mittelpunkte der Bewegung dieser Gestirne. Vor der Opposition geht diese Bewegung aus dem recht-

läufigen Zustande in den rückläufigen über; nach der Opposition aber nimmt sie den rechtläufigen Zustand wieder an, wenn der Planet bey seiner Wiederannäherung zur Sonne von derselben eben so weit entfernt ist, als beym Anfange seines Rücklaufs, und im Augenblicke der Opposition selbst ist seine rückläufige Geschwindigkeit am gröfsten. Dieſs zeigt offenbar, dafs die beobachtete Bewegung dieser Planeten das Resultat von zwey wechselsweise übereinstimmenden und entgegengesetzten Bewegungen ist, deren eine sich nach der der Sonne richtet. Von der Art sind die Bewegungen des Merkurs und der Venus, die, während sie um die Sonne laufen, zugleich mit dieser um die Erde fortgeführt werden. Es ist natürlich, das nämliche Gesetz auch auf die übrigen Planeten auszudehnen, mit dem einzigen Unterschiede, dafs die Erde aufserhalb der Bahnen der Venus und des Merkurs, aber innerhalb der Bahnen des Mars, Jupiters, Saturns und Uranus liegt.

Alle Erscheinungen der Bewegungen und der Durchmesser dieser Planeten flieſsen so natürlich aus dieser Voraussetzung, dafs man

darin den Mechanismus der Natur nicht verkennen kann.

Die beynahe kreisförmige Bewegung der Planeten um die Sonne wird für den Jupiter durch die Verfinsterungen seiner Trabanten, und für den Saturn durch die Abwechselungen des Verschwindens und Wiedererscheinens seines Rings directe erwiesen. Wir haben oben gesehen, dafs diese Erscheinungen die Entfernungen dieser Planeten von der Sonne in Theilen des mittleren Abstands der Sonne von der Erde geben; und man findet auf solche Art, dafs diese Entfernungen während eines Umlaufs wenig unterschieden, und die Bewegungen dieser Planeten beynahe gleichförmig sind.

So hat uns also die Vergleichung der Erscheinungen darauf geleitet, die Sonne in den Mittelpunkt der Bahnen aller Planeten zu setzen, die sich um sie bewegen, während sie selbst sich um die Erde bewegt, oder zu bewegen scheint.

Drittes Kapitel.

Von der Bewegung der Erde um die Sonne.

Wollen wir jetzt annehmen, die Sonne bewege sich, von Planeten und Trabanten begleitet, um die Erde, oder wollen wir die Erde, so wie die Planeten, sich um die Sonne bewegen lassen? Die Erscheinungen der himmlischen Bewegungen sind unter beyden Voraussetzungen die nämlichen; aber die letztere muſs, um der nachfolgenden Betrachtungen willen, vorgezogen werden.

Da die Massen der Sonne und mehrerer Planeten beträchtlich gröſser sind, als die der Erde, so ist es viel einfacher, diese sich um die Sonne bewegen zu lassen, als das ganze Sonnensystem um sie in Bewegung zu setzen. Welche Verwickelung in den himmlischen Bewegungen führt die Unbeweglichkeit der Erde mit sich? Was für eine schnelle Bewegung muſs man alsdann beym Jupiter, bey dem fast zehnmal weiter, als die Sonne entfernten Saturn, und bey dem noch weiter entlegenen Uranus annehmen, um sie jährlich um uns sich bewegen zu lassen, während sie um die Sonne laufen? Diese Verwickelung und diese Schnelligkeit der Bewe-

gung verschwindet durch die Umlaufsbewegung der Erde, welche auch dem allgemeinen Gesetze angemessen ist, nach welchem die kleineren Himmelskörper um die benachbarten gröfseren laufen.

Die Aehnlichkeit der Erde mit den Planeten bestättiget diese Bewegung. Sie drehet sich, wie Jupiter, um sich selbst, und wird von einem Trabanten begleitet. Ein Beobachter auf der Oberfläche des Jupiters würde das Sonnensystem um sich in Bewegung zu sehen glauben, und die Gröfse des Planeten würde diese Täuschung minder unwahrscheinlich, als bey der Erde, machen. Ist es nun nicht natürlich, zu denken, dafs die Bewegung dieses Systems um uns nichts weiter, als ein ähnlicher Schein sey?

Wir wollen uns in Gedanken auf die Oberfläche der Sonne versetzen, und von da die Erde und die Planeten betrachten. Alle diese Körper werden uns von Abend nach Morgen sich zu bewegen scheinen; und nun ist diese Identität der Richtung schon eine Anzeige von der Bewegung der Erde, aber was sie vollends einleuchtend beweifst, ist das Gesetz, welches zwischen den Umlaufszeiten der Planeten und ihren Entfernungen

von der Sonne Statt findet. Sie laufen nämlich um so viel langsamer um sie, je weiter sie von ihr entfernt sind, so daſs die Quadrate ihrer Umlaufszeiten sich wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von diesem Gestirne verhalten. Nach diesem merkwürdigen Gesetze muſs die Dauer des Umlaufs der Erde, vorausgesetzt, daſs sie um die Sonne sich bewege, der des siderischen Jahres genau gleich seyn. Ist dieſs nicht ein unwidersprechlicher Beweis, daſs die Erde sich, wie alle Planeten, bewegt, und daſs sie den nämlichen Gesetzen unterworfen ist?

Würde es nicht überdieſs eigensinnig seyn, anzunehmen, daſs die, von der Sonne aus, nicht ohne beträchtliche Mühe sichtbare, Erdkugel unbeweglich in der Mitte der um die Sonne laufenden Planeten liege, welche selbst mit diesen um die Erde herumgeführt würde? Müſste die Kraft, welche, um die Planeten in ihren Bahnen um die Sonne zu erhalten, ihre Centrifugalkraft aufwiegt, nicht auf gleiche Art auch auf die Erde wirken, und müſste nicht die Erde dieser Wirkung eine gleichgroſse Centrifugalkraft entgegensetzen? So läſst die Betrachtung der himm-

lischen Bewegungen von der Sonne aus über die wahre Bewegung der Erde keinen Zweifel übrig. Aber der auf der Erde befindliche Beobachter hat überdiefs noch einen sichtbaren Beweis weiter von dieser Bewegung in der Erscheinung der Abirrung des Lichts (aberration), die eine nothwendige Folge davon ist, wie wir jetzt zeigen wollen.

Gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts beobachtete Römer, dafs die Finsternisse der Jupiterstrabanten gegen die Oppositionen dieses Planeten voreilen, und gegen seine Conjunctionen zurückbleiben; diefs führte ihn auf die Vermuthung, dafs das Licht von diesen Sternen bis zur Erde sich nicht augenblicklich fortpflanze, und dafs es eine merkliche Zeit brauche, um den Durchmesser der Sonnenbahn zu durchlaufen. Da Jupiter in seinen Oppositionen um die Gröfse dieses Durchmessers näher bey uns ist, als in seinen Conjunctionen, so müssen die Finsternisse für uns im ersten Falle um die ganze Zeit, welche das Licht braucht, um die Sonnenbahn zu durchlaufen, früher, als im andern, erfolgen.

Das Gesetz der beobachteten Verspätungen dieser Finsternisse stimmt so genau mit

dieser Voraussetzung überein, dafs es unmöglich ist, ihr den Beyfall zu versagen. Eine Folge davon ist, dafs das Licht 571″ braucht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen.

Jetzt würde ein unbeweglicher Beobachter die Sterne nach der Richtung ihrer Stralen sehen, aber bey der angenommenen Lage, wo er sich mit der Erde bewegt, verhält es sich damit nicht so.

Um diesen Fall auf den eines in Ruhe bleibenden Beobachters zurückzuführen, ist es genug, den Sternen, dem Lichte, und dem Beobachter selbst eine Bewegung in entgegengesetzter Richtung von derjenigen, nach welcher er wirklich fortgeführt wird, zu geben, welches die scheinbare Lage der Sterne nicht ändert; denn es ist ein allgemeines Gesetz der Optik, dafs, wenn man allen Körpern eines Systems eine gemeinschaftliche Bewegung ertheilt, dadurch in ihrer gegenseitigen Lage nichts geändert wird. Wir wollen uns also vorstellen, dafs man dem Lichte und überhaupt allen Körpern, eine gleiche, und der des Beobachters entgegensetzte Bewegung ertheile, und wollen sehen, was für Erscheinungen in der scheinbaren Lage der Sterne sich daraus ergeben müssen. Man kann da-

bey von der Umdrehung der Erde, die, selbst am Aequator, ungefähr sechzigmal kleiner ist, als die Bewegung der Erde um die Sonne, absehen. Man kann hier auch noch, ohne einen merklichen Irrthum annehmen, dafs alle Lichtstralen, die ein jeder Punkt der Scheibe eines Sterns uns zusendet, einander selbst, und dem Strale paralle! seyen, welcher aus dem Mittelpunkte des Sterns zu dem der Erde, wofern sie durchsichtig wäre, gelangen würde. So sind die Erscheinungen, welche die Sterne einem in dem letztern Mittelpunkte befindlichen Beobachter darbieten würden, und welche von der Bewegung des Lichts, verbunden mit der der Erde, abhangen, für alle über die Oberfläche von dieser verbreiteten Beobachter sehr nahe die nämlichen. Endlich wollen wir auch von der kleinen Excentricität der Erdbahn absehen. Diefs alles sezzen wir also voraus.

In dem Zeitraume von 571″, welche das Licht braucht, um den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen, beschreibt die Erde einen kleinen Bogen dieser Bahn von 62″,5. Nun folgt es aus den Gesetzen von der Zusammensetzung der Bewegungen, dafs, wenn man sich durch den Mittelpunkt eines Sterns

einen kleinen der Ekliptik parallelen Kreis gedenkt, dessen Durchmesser am Himmel einem Winkel von 125″ zugehört, die Richtung der Bewegung des Lichts, wenn man solche mit der Bewegung der Erde, in entgegengesetzter Richtung genommen, zusammensetzt, diesem Kreise in dem Punkte begegne, wo er von einer durch des Sterns Mittelpunkt gelegten und die Erdbahn berührenden Ebene geschnitten wird; der Stern mufs also in diesem Kreise sich zu bewegen und ihn jährlich so zu beschreiben scheinen, dafs er darin beständig um hundert Grade weiter zurück ist, als die Sonne in ihrer scheinbaren Bahn.

Diese Erscheinung ist genau dieselbige, welche wir im eilften Kapitel des ersten Buchs nach Bradley's Beobachtungen, welchem man die Entdeckung derselbigen, so wie die ihrer Ursache zu danken hat, erläutert haben.

Um die Sterne auf ihre wahre Lage zu beziehen, ist es genug, sie in den Mittelpunkt des kleinen Kreises zu setzen, den sie uns zu beschreiben scheinen; ihre jährliche Bewegung ist daher nichts weiter, als eine durch die Verbindung der Bewegung des Lichts mit der Erde veranlafste Täuschung. Ihre Beziehungen auf

den Stand der Sonne konnten schon auf die Vermuthung führen, dafs sie blofs scheinbar sey; aber die vorhin gegebene Erklärung beweifst solches einleuchtend. Sie giebt zugleich einen sichtbaren Beweis von der Bewegung der Erde um die Sonne, so wie die Zunahme der Grade und der Schwere, wenn man vom Aequator nach den Polen zu geht, ihre Umdrehungsbewegung sichtbar macht.

Die Abirrung des Lichts afficirt die Stellungen der Sonne, der Planeten, ihrer Trabanten und der Kometen, aber auf verschiedene Art, nach dem Verhältnisse ihrer besondern Bewegungen. Um sie davon zu befreyen, und die wahre Lage der Gestirne zu erhalten, wollen wir für jeden Augenblick allen Körpern eine gleiche und der Bewegung der Erde, welche dadurch unbeweglich wird, entgegengesetzte Bewegung ertheilen, was, wie schon bemerkt worden ist, weder ihre gegenseitigen Lagen, noch ihre Erscheinungen verändert. Alsdann ist es sichtbar, dafs ein Stern in dem Augenblicke, da wir ihn gewahrnehmen, nicht mehr in der Richtung seines Lichtstrals liegt, der unser Auge trifft; er hat sich davon entfernt vermöge seiner wahren Bewegung, verbunden mit der der Erde, von welcher man

annimmt, dafs sie ihm nach der entgegengesetzten Richtung ertheilt sey. Die Verbindung dieser beyden Bewegungen von der Erde aus gesehen, giebt die scheinbare Bewegung, die man die *geocentrische* nennt. Man wird also die wahre Lage des Sterns erhalten, wenn man zu seiner beobachteten geocentrischen Länge und Breite seine geocentrische Bewegung in Länge und Breite während der Zeit, welche das Licht braucht, um von dem Sterne zur Erde zu gelangen, addirt. So scheint uns der Mittelpunkt der Sonne beständig um 62″,5 in ihrer Bahn weiter zurück, als wenn ihr Licht augenblicklich zu uns gelangte.

Die Abirrung verändert die Verhältnisse der himmlischen Erscheinungen sowohl gegen den Raum, als gegen die Zeit. In dem Augenblicke, da wir sie noch sehen, sind sie schon nicht mehr. Wenn wir das Ende der Finsternisse der Jupiterstrabanten gewahrnehmen, so sind schon 25 oder 30 Minuten seit demselben verflossen, und die Lichtabwechselungen der veränderlichen Sterne gehen den Augenblicken ihrer Beobachtung um mehrere Jahre vorher. Wenn uns aber alle diese Ursachen der Täuschung genau bekannt sind, so können wir die Erscheinungen des Son-

nensystems immer auf ihren wahren Ort und ihre wahre Zeit beziehen.

Die Betrachtungen der himmlischen Bewegungen führt uns also darauf, die Erde aus dem Mittelpunkte des Weltraums wegzuweisen, wohin wir sie, betrogen durch die Erscheinungen, und durch die Neigung des Menschen, sich als den vornehmsten Gegenstand der Natur zu betrachten, versetzten. Die Kugel, die er bewohnt, ist ein Planet, der sich um sich selbst dreht, und um die Sonne läuft. Betrachten wir ihn aus diesem Gesichtspunkte, so erklären sich alle Erscheinungen auf die einfachste Art; die Gesetze der himmlischen Bewegungen sind einförmig, alle Analogien sind beobachtet.

Wie Jupiter, Saturn und Uranus, so ist auch die Erde von einem Trabanten begleitet; sie drehet sich um sich selbst, wie Venus, Mars, Jupiter, Saturn, und wahrscheinlich alle Planeten; sie entlehnt, wie diese, ihr Licht von der Sonne, und bewegt sich um sie nach der nämlichen Richtung und nach den nämlichen Gesetzen. Endlich vereinigt die Vorstellung von der Bewegung der Erde zu ihrem Vortheile die Einfachheit, die Analogie, und überhaupt alles, was das wahre System der Natur

kenntlich macht. Wir werden, wenn wir sie in ihren Folgen weiter untersuchen, die himmlischen Erscheinungen bis auf ihre kleinsten Umstände, auf ein einziges Gesetz, wovon sie nothwendige Entwickelungen sind, zurückgeführt finden. Auf solche Art wird die Bewegung der Erde alle Gewifsheit erhalten, deren physische Wahrheiten irgend fähig sind, und welche theils aus der Menge und Mannichfaltigkeit der erklärten Erscheinungen, theils aus der Einfachheit der Gesetze, wovon man sie abhängig macht, hervorgehen kann. Kein Theil der Naturkenntnisse vereinigt diese Vortheile in einem höhern Grade, als die auf die Bewegung der Erde gegründete Theorie des Weltsystems.

Diese Bewegung vergröfsert das Weltgebäude in unsern Augen; sie giebt uns zur Abmessung der Entfernungen der Himmelskörper eine unermefsliche Grundlinie, den Durchmesser der Erdbahn. Durch ihre Hülfe hat man die Abmessungen der Planetenbahnen genau bestimmt. So hat die Bewegung der Erde, die durch die Täuschungen, welche sie verursacht, die Kenntnifs der wahren Bewegungen der Planeten lange Zeit aufgehalten hat, uns diese in der Folge genauer

bekannt

bekannt gemacht, als wenn wir selbst in den Brennpunkt dieser Bewegungen wären versetzt worden. Indessen ist die jährliche Parallaxe der Sterne, oder der Winkel, unter welchem man aus ihrem Mittelpunkte den Durchmesser der Erdbahn sehen würde, unmerklich, und erstreckt sich, selbst in Ansehung der Sterne, die durch ihren lebhaften Glanz der Erde am nächsten zu seyn scheinen, nicht auf 6 Secunden; sie sind daher von dieser aufs wenigste hunderttausendmal weiter, als die Sonne, entfernt. Eine so ungeheure Entfernung, verbunden mit ihrem lebhaften Glanze, beweifst uns offenbar, dafs sie ihr Licht nicht, wie die Planeten und ihre Trabanten von der Sonne borgen, sondern mit eigenem Lichte glänzen, und dafs sie eben so viele in dem unermefslichen Weltraume zerstreute Sonnen sind, die, wie die unsrige, die Brennpunkte von eben so vielen Planetensystemen seyn können. In der That brauchen wir nur uns auf den nächsten dieser Sterne zu versetzen, um unsere Sonne nur als einen hellen Stern zu sehen, dessen Durchmesser nicht ganz den dreyfsigsten Theil einer Secunde beträgt.

Aus der unermeſslichen Entfernung der Fixsterne folgt, daſs ihre Bewegungen in gerader Aufsteigung und Abweichung bloſse Erscheinungen sind, die durch die Bewegungen der Erdachse verursacht werden. Aber einige Sterne scheinen eigene Bewegungen zu haben, und es ist wahrscheinlich, daſs sie alle in Bewegung sind, so wie die Sonne, welche das ganze System der Planeten, Kometen und Trabanten im Weltraume mit sich fortführt, und wie ein jeder Planet, bey seiner Bewegung um die Sonne, seine Trabanten nach sich führt.

Viertes Kapitel.

Von den Erscheinungen, die die Bewegungen der Erde verursachen.

Aus dem Gesichtspunkte, in welchen die Vergleichung der himmlischen Erscheinungen uns gestellt hat, wollen wir nun die Sterne betrachten, und die vollkommene Identität ihrer Erscheinungen mit denen, die man beobachtet, zeigen.

Es mag entweder der Himmel um die Weltachse, oder die Erde um sich selbst, in einer Richtung, die der der scheinbaren Bewegung des unbeweglichen Himmels entgegengesetzt ist, sich drehen, so ist klar, daſs alle Sterne sich uns auf die nämliche Art zeigen werden. Es ist dabey nur der einzige Unterschied, daſs sie im ersten Falle nach und nach über die verschiedenen Erdmeridiane, im andern aber unter dieselbigen sich stellen werden.

Da die Bewegung der Erde allen auf ihrer Oberfläche befindlichen Körpern, auch den Gewässern, die sie bedecken, gemein ist, so sind ihre relativen Bewegungen die nämlichen, als wenn die Erde unbeweglich wäre. So bewegt sich auf einem mit gleichförmiger Bewegung fortgehenden Schiffe alles eben so, als wenn es in Ruhe wäre; ein lothrecht in die Höhe geworfener schwerer Körper fällt auf den Punkt zurück, von welchem er ausgegangen war; auf dem Schiffe scheint er eine lothrechte Linie zu beschreiben, aber vom Ufer aus gesehen, bewegt er sich schief gegen den Horizont, und beschreibt eine parabolische Curve. Die Umdrehung der Erde kann daher auf ihrer Oberfläche nicht anders

merklich seyn, als durch die Wirkungen der Centrifugalkraft, welche das Erdsphäroid an den Polen abplattet, und die Schwere am Aequator vermindert; zwey Erscheinungen, welche die Messungen der Meridiangrade und des Pendels uns bekannt gemacht haben.

Da bey dem Umlaufe der Erde um die Sonne ihr Mittelpunkt und alle Punkte ihrer Umdrehungsachse sich mit gleichen und parallelen Geschwindigkeiten bewegen, so bleibt diese Achse immer ihr selbst parallel; ertheilt man also für jeden Augenblick allen Theilen der Erde eine gleiche und der Bewegung ihres Mittelpunkts entgegengesetzte Bewegung, so wird sie, wie die Umdrehungsachse unbeweglich bleiben; aber diese eingedrückte Bewegung ändert die Erscheinungen der Bewegung der Sonne nicht, sie ertheilt blos diesem Gestirne die wahre Bewegung der Erde in entgegengesetzter Richtung; die Erscheinungen sind folglich die nämlichen bey der Voraussetzung der ruhenden Erde, und bey der ihrer Bewegung um die Sonne. Um die Identität dieser Erscheinungen noch mehr ins Einzelne zu verfolgen, wollen wir uns einen aus dem Mittelpunkte der Sonne an den der

Erde gehenden Stral gedenken; dieser Stral wird auf der Ebene, welche die erleuchtete Halbkugel der Erde von der dunkeln scheidet, lothrecht stehen. Der Punkt, worin er durch die Oberfläche der Erde gehen wird, wird die Sonne lothrecht über sich sehen, und alle Punkte des Erdparallels, denen dieser Stral, vermöge seiner täglichen Bewegung, nach und nach begegnen wird, werden des Mittags dieses Gestirn im Scheitelpunkte haben. Nun mag entweder die Sonne um die Erde, oder die Erde um die Sonne sich bewegen, und zugleich um sich selbst sich so drehen, dafs ihre Umdrehungsachse beständig in paralleler Richtung bleibt, so ist es klar, dafs dieser Stral auf der Erdfläche die nämliche Curve beschreiben wird; er wird in beyden Fällen die nämlichen Parallele des Aequators schneiden, wenn die Sonne die nämliche scheinbare Länge hat; dieses Gestirn wird daher eine gleiche Höhe über dem Horizonte erreichen, und die Tage werden von gleicher Dauer seyn. Die Jahrszeiten und die Tage sind also die nämlichen bey der Voraussetzung der ruhenden Sonne, und bey der ihrer Bewegung um die Erde; und die im vorigen Buche gegebene Erklärung der Jahrs-

zeiten läfst sich eben so gut auch auf die erste Voraussetzung anwenden.

Alle Planeten bewegen sich nach einerley Richtung, aber mit verschiedenen Geschwindigkeiten um die Sonne; ihre Umlaufszeiten wachsen in einem gröfsern Verhältnisse als ihre Entfernungen von diesem Gestirne. Jupiter z. B. braucht ohngefähr 12 Jahre, um seine Bahn zu durchlaufen, deren Halbmesser nur ohngefähr fünfmal gröfser, als der der Erdbahn ist; seine wahre Geschwindigkeit ist daher kleiner, als die der Erde. Diese Abnahme der Geschwindigkeit bey den Planeten, nach dem Maafse ihrer gröfseren Entfernung von der Sonne, hat vom Merkur an, der ihr am nächsten, bis zum Uranus, der am weitesten von ihr entfernt ist, durchgängig Statt; und aus den Gesetzen, die wir in der Folge aufstellen werden, ergiebt sich, dafs die mittleren Geschwindigkeiten der Planeten sich umgekehrt verhalten, wie die Quadratwurzeln ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Wir wollen einen Planeten betrachten, dessen Bahn von der Erdbahn eingeschlossen wird, und ihn von seiner oberen bis zu seiner unteren Conjunction verfolgen. Seine

scheinbare oder, geocentrische Bewegung ist das Resultat seiner wahren Bewegung verbunden mit der der Erde, in entgegengesetzter Richtung genommen. Bey der oberen Conjunction ist die wahre Bewegung des Planeten der der Erde entgegengesetzt; seine geocentrische Bewegung ist folglich alsdann die Summe dieser beyden Bewegungen, und hat einerley Richtung mit der geocentrischen Bewegung der Sonne, die sich aus der Bewegung der Erde ergiebt, wenn man sie diesem Gestirne, in entgegengesetzter Richtung beylegt; die scheinbare Bewegung des Planeten ist also rechtläufig. Bey der unteren Conjunction hat die Bewegung des Planeten einerley Richtung mit der der Erde, und da sie gröfser ist, so behält die geocentrische Bewegung die nämliche Richtung; da sie aber nichts anders ist, als der Ueberschufs der wahren Bewegung des Planeten über die der Erde, so hat sie eine der scheinbaren Bewegung der Sonne entgegengesetzte Richtung und ist mithin rückläufig. Man begreift leicht, dafs bey dem Uebergange der rechtläufigen Bewegung in die rückläufige der Planet ohne Bewegung, oder stille stehend erscheinen, und dafs diefs zwischen der gröfst-

ten Elongation und der unteren Conjunction Statt haben, muſs, wenn die geocentrische Bewegung des Planeten, die aus seiner wahren Bewegung, und aus der der Erde in entgegengesetzter Richtung genommen, hervorgeht, nach der Gesichtslinie des Planeten gerichtet ist. Diese Erscheinungen stimmen mit den beobachteten Bewegungen des Merkurs und der Venus ganz überein.

Die Bewegung der Planeten, deren Bahnen die Erdbahn einschlieſsen, hat bey ihren Oppositionen einerley Richtung mit der Bewegung der Erde, sie ist aber kleiner, und wenn sie mit dieser letztern Bewegung, in entgegengesetzter Richtung genommen, zusammengesetzt wird, so nimmt sie eine, ihrer anfänglichen Richtung, entgegengesetzte Richtung an; die geocentrische Bewegung dieser Planeten ist folglich alsdann rückläufig; bey ihren Conjunctionen aber ist sie rechtläufig, so wie die Bewegungen des Merkurs und der Venus bey den oberen Conjunctionen.

Legt man den Fixsternen die Bewegung der Erde in entgegensetzter Richtung bey, so müssen sie jährlich einen Kreis zu beschreiben scheinen, der der Erdbahn gleich und parallel ist, und dessen Durchmesser am Him-

mel einem Winkel zugehört, der demjenigen gleich ist, unter welchem man von ihrem Mittelpunkte aus den Durchmesser dieser Bahn sieht. Diese scheinbare Bewegung hat viele Aehnlichkeit mit derjenigen, welche aus der Zusammensetzung der Bewegungen der Erde und des Lichts hervorgeht, und durch welche die Sterne uns jährlich einen der Ekliptik parallelen Kreis zu beschreiben scheinen, dessen Durchmesser einem Winkel von 125″ zugehört; sie ist aber darin von ihr unterschieden, dafs diese Sterne in dem ersten Kreise einerley Stand mit der Sonne haben, da sie hingegen in dem andern um hundert Grade weiter zurück sind, als sie. Daran kann man diese beyden Bewegungen von einander unterscheiden, und dadurch hat man sich versichert, dafs die erstere unmerklich ist, weil die unermefsliche Entfernung der Sterne von uns den Winkel unmerklich macht, der dem aus dieser Entfernung gesehenen Durchmesser der Erdbahn zugehört.

Da die Weltachse nichts anders ist, als die Verlängerung der Umdrehungsachse der Erde, so mufs man auf die letztere die Bewegung der Pole des Aequators am Himmel beziehen, welche durch die im eilften Kapitel

des ersten Buchs erklärten Erscheinungen des Vorrückens der Nachtgleichen und des Schwankens der Erdachse angezeigt wird. So bewegt sich zu gleicher Zeit, da die Erde sich um sich selbst dreht, und um die Sonne läuft, ihre Umdrehungsachse sehr langsam um die Pole der Ekliptik durch kleine Schwingungen, deren Periode mit der der Bewegung der Knoten der Mondsbahn einerley ist. Uebrigens kommt diese Bewegung der Erde nicht ausschliefsend zu; denn wir haben im vierten Kapitel des ersten Buchs gesehen, dafs auch die Achse des Monds sich in eben der Periode um die Pole der Ekliptik bewege.

Fünftes Kapitel.

Von der Gestalt der Planetenbahnen, und den Gesetzen ihrer Bewegung um die Sonne.

Nichts würde leichter seyn, als, nach den vorhergehenden Bestimmungsstücken, die Lage der Planeten für jeden Augenblick zu berechnen, wenn ihre Bewegungen um die Sonne kreisförmig und gleichförmig wären; aber sie sind sehr merklichen Ungleichheiten

unterworfen, deren Gesetze einen der wichtigsten Gegenstände der Astronomie und den einzigen Faden ausmachen, welcher uns zu einem allgemeinen Grundgesetze der himmlischen Bewegungen führen kann. Um diese Gesetze in den Erscheinungen, welche die Planeten uns darbieten, zu erkennen, muſs man ihre Bewegungen von den Wirkungen der Bewegung der Erde befreyen, und ihre, aus verschiedenen Punkten der Erdbahn beobachtete, Lage auf die Sonne beziehen. Daher ist es vor allem nöthig, die Abmessungen dieser Bahn und das Gesetz der Bewegung der Erde zu bestimmen.

Wir haben im zweyten Kapitel des ersten Buchs gesehen, daſs die scheinbare Bahn der Sonne eine Ellipse ist, in deren einem Brennpunkte der Mittelpunkt der Erde liegt. Da aber die Sonne in der That unbeweglich ist, so muſs man sie in den Brennpunkt der Ellipse, die Erde aber in den Umfang derselben setzen; die scheinbare Bewegung der Sonne wird alsdann die nämliche seyn, und um die aus dem Mittelpunkte der Sonne gesehene Lage der Erde zu erhalten, wird man nur den Stand jenes Gestirns um die Summe

von zwey rechten Winkeln zu vermehren brauchen.

Wir haben ferner gesehen, dafs die Sonne in ihrer Bahn sich so zu bewegen scheint, dafs der Radius Vector, welcher ihren Mittelpunkt mit dem der Erde verbindet, Flächen um sie zu beschreiben scheint, die den Zeiten proportionirt sind. In der That aber werden diese Flächen um die Sonne beschrieben. Ueberhaupt aber mufs alles, was wir in dem angeführten Kapitel über die Excentricität der Sonnenbahn und ihre Veränderungen, über die Lage und Bewegung ihrer Erdnähe gesagt haben, auf die Erdbahn angewandt werden, mit der einzigen Bemerkung, dafs die Sonnennähe der Erde von der Erdnähe der Sonne um zwey rechte Winkel entfernt ist.

Nachdem wir also die Gestalt der Erdbahn kennen, wollen wir sehen, wie man dazu gelangt ist, auch die der übrigen Planetenbahnen zu bestimmen. Wir wollen den Planeten Mars zum Beyspiele nehmen, welcher durch die grofse Excentricität seiner Bahn und durch seine Nähe bey der Erde vorzüglich tauglich ist, uns zur Entdeckung der Bewegungsgesetze der Planeten zu führen.

Die Bewegung des Mars um die Sonne und seine Bahn würden bekannt seyn, wenn man für irgend einen Augenblick den Winkel, welchen sein Radius Vector mit einer durch der Sonne Mittelpunkt gehenden unveränderlichen Linie macht, und die Länge dieses Radius hätte.

Um diese Aufgabe einfacher zu machen, wählt man solche Stellungen des Mars, in welchen die eine dieser Gröfsen sich besonders zeigt; welches in den Oppositionen sehr nahe Statt hat, wo man findet, dafs diesem Planeten der nämliche Punkt der Ekliptik zugehört, auf welchen man ihn von dem Mittelpunkte der Sonne aus beziehen würde. Die Verschiedenheit der Bewegungen des Mars und der Erde macht, dafs der Ort des Planeten bey seinen auf einander folgenden Oppositionen in verschiedene Punkte des Himmels fällt. Vergleicht man daher eine grofse Zahl beobachteter Oppositionen mit einander, so wird man das Gesetz entdecken können, welches zwischen der Zeit und der Winkelbewegung des Mars um die Sonne, die man die *heliocentrische* Bewegung nennt, Statt findet. Die Analysis bietet verschiedene Methoden zu diesem Behufe dar, die in dem ge-

genwärtigen Falle durch die Betrachtung sich vereinfachen lassen, dafs die beträchtlichsten Ungleichheiten des Mars bey jedem seine siderischen Umläufe wieder die nämliche sind. Sie lassen sich durch eine stark convergirende Reihe der Sinus der vielfachen Winkel seiner mittlern Bewegung ausdrücken, deren Coefficienten, vermittelst einiger auserlesenen Beobachtungen, sich leicht bestimmen lassen.

Man erhält sofort das Gesetz des Radius Vector des Mars durch Vergleichung der Beobachtungen dieses Planeten gegen die Quadraturen, wo dieser Radius, wenn er ungefähr 100 Grade von der Sonne entfernt ist, sich unter dem gröfsten Winkel zeigt. In dem Dreyecke, welches die geraden Linien einschliefsen, die die Mittelpunkte der Erde, der Sonne und des Mars mit einander verbinden, giebt die Beobachtung unmittelbar den Winkel an der Erde; das Gesetz der heliocentrischen Bewegung des Mars giebt den Winkel an der Sonne, und man schliefst daraus den Radius Vector des Mars in Theilen von dem der Erde, welcher selbst in Theilen der mittlern Entfernung der Erde von der Sonne gegeben ist. Die Vergleichung

einer grofsen Anzahl so bestimmter Radien macht das Gesetz ihrer Veränderungen bekannt, die den Winkeln zugehören, welche sie mit einer unveränderlichen geraden Linie einschliefsen, und man kann alsdann die Gestalt der Bahn verzeichnen.

Ungefähr durch eine ähnliche Methode fand Kepler die länglichte Gestalt und die Excentricität der Marsbahn. Er hatte den glücklichen Einfall, ihre Gestalt mit der der Ellipse zu vergleichen, indem er die Sonne in den einen ihrer Brennpunkte setzte, und die zahlreichen Beobachtungen des Tycho, die durch die Voraussetzung einer elliptischen Bahn genau dargestellt wurden, liefsen ihm über die Wahrheit dieser Voraussetzung keinen Zweifel.

Den der Sonne am nächsten liegenden Endpunkt der grofsen Achse nennt man die *Sonnennähe* (*Perihelium*), und den entferntesten Endpunkt derselben die *Sonnenferne* (*Aphelium*).

In der Sonnennähe ist die Winkelgeschwindigkeit des Mars um die Sonne am gröfsten; von da an nimmt sie in eben dem Maafse ab, als der Radius Vector zunimmt, und sie ist am kleinsten in der Sonnenferne.

Bey der Vergleichung dieser Geschwindigkeit mit den Potenzen des Radius Vector fand Kepler, daſs sie dem Quadrate desselben proportionirt ist, so daſs das Produkt der täglichen heliocentrischen Bewegung des Mars durch das Quadrat seines Radius Vector immer das nämliche ist. Dieses Product ist das Doppelte des kleinen Sectors, welchen dieser Radius täglich um die Sonne beschreibt. Die Fläche, die er beschreibt, indem er von einer durch der Sonne Mittelpunkt gehenden unveränderlichen Linie ausgeht, wächst demnach wie die Zahl der seit der Zeit, da der Planet auf dieser Linie war, verflossenen Tage. Dieſs drückte Kepler so aus: Die durch den Radius Vector des Mars beschriebenen Flächen sind den Zeiten proportionirt.

Diese Bewegungsgesetze des Mars sind einerley mit den Gesetzen der scheinbaren Bewegung der Sonne, welche wir im zweyten Kapitel des ersten Buchs entwickelt haben; sie haben also auf gleiche Art auch für die Erde Statt. Es war natürlich, sie auch auf die übrigen Planeten auszudehnen. Kepler stellte daher als Grundgesetze der Bewegung dieser Körper folgende zwey auf, welche alle Beobachtungen bestättiget haben:

Die

Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte der Sonne Mittelpunkt liegt.

Die durch die Radios Vectores der Planeten um diesen Mittelpunkt beschriebenen Flächen sind den zu ihrer Beschreibung gebrauchten Zeiten proportionirt.

Diese Gesetze sind zur Bestimmung der Bewegung der Planeten um die Sonne hinreichend; man mufs aber für jeden derselben sieben Gröfsen kennen, welche man *Elemente der elliptischen Bewegung* nennt. Fünf dieser Elemente beziehen sich auf die Bewegung in der Ellipse, und sind 1) die Zeit des siderischen Umlaufs, 2) die halbe gröfse Achse oder die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne, 3) die Excentricität, woraus sich die gröfste Mittelpunktsgleichung ergiebt, 4) die mittlere Länge des Planeten für eine gegebene Zeit, 5) die Länge der Sonnennähe für die nämliche Zeit. Die zwey andern Elemente beziehen sich auf die Lage der Bahn und sind 1) die Länge der Knoten der Bahn, oder ihrer Durchschnittspunkte mit einer Ebene, wofür man gemeiniglich die der Ekliptik nimmt, für eine gegebene Zeit; 2) die Neigung der

Bahn gegen diese Ebene. Man hat also fü das ganze System der bekannten Planete 49 Elemente zu bestimmen. Die nachfo gende Tafel stellt alle diese Elemente fü den Anfang des Jahrs 1750 dar.

Die Untersuchung dieser Tafel zeig uns, daſs die Umlaufszeiten der Planete mit ihren mittleren Entfernungen von de Sonne zunehmen. Dieſs führte Keplern auf die Vermuthung, daſs sie an diese Entfernungen durch ein Verhältniſs gebunden seyen, welches er zu entdecken sich vorsetzte. Nach einer groſsen Anzahl siebzehn Jahre lang fortgesetzter Versuche fand er endlich, daſs *die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sich zu einander verhalten wie die Würfel der groſsen Achsen ihrer Bahnen.*

Dieſs sind die Gesetze der Bewegung der Planeten, die Grundgesetze, welche der Astronomie eine neue Gestalt gegeben, und zur Entdeckung der allgemeinen Schwere geführt haben.

Die Ellipsen der Planeten sind nicht unveränderlich; ihre groſsen Achsen scheinen immer die nämlichen zu seyn, aber ihre Excentricitäten, ihre Neigungen gegen eine

unbewegliche Ebene, die Lage ihrer Knoten, und ihrer Sonnennähen, sind Veränderungen unterworfen, die bis jetzt im Verhältnisse der Zeiten zu wechseln scheinen. Da diese Veränderungen erst nach Jahrhunderten merklich werden, so hat man sie die *seculären Ungleichheiten* genannt. Ihr Daseyn ist keinem Zweifel unterworfen; da aber die neueren Beobachtungen nicht weit genug von einander entfernt, und die älteren nicht genau genug sind, um sie scharf zu bestimmen, so bleibt, in Ansehung ihrer Gröfse, noch einige Ungewifsheit zurück. Die folgende Tafel enthält diejenigen Werthe, welche allen diesen Beobachtungen zusammengenommen am besten Genüge zu thun scheinen.

Man bemerkt ferner periodische Ungleichheiten, welche die elliptischen Bewegungen der Planeten stören. Die Bewegung der Sonne wird dadurch nur wenig verändert, wie wir in dem vorhergehenden Buche gesehen haben; aber an den zwey gröfsten Planeten, dem Jupiter und Saturn, sind sie besonders merklich. Durch Vergleichung der neueren Beobachtungen mit den älteren haben die Astronomen eine Abnahme bey

der Umlaufszeit des Jupiters und eine Zunahme bey der des Saturn bemerkt; die Vergleichung der neueren Beobachtungen unter einander giebt ein entgegengesetztes Resultat, welches grofse Ungleichheiten von sehr langen Perioden bey der Bewegung dieser Planeten anzuzeigen scheint. Selbst in diesem Jahrhunderte schien die Umlaufszeit des Saturns nach den Punkten der Bahn, in welche man den Anfang der Bewegung des Planeten setzte, unterschieden zu seyn; seine Zurückkunft zur Frühlingsnachtgleiche erfolgte schneller, als zur Herbstnachtgleiche. Endlich zeigen Jupiter und Saturn Ungleichheiten, die sich auf mehrere Minuten erstrecken, und von dem Stande dieser Planeten sowohl gegen einander als in Ansehung ihrer Sonnennähen abzuhangen scheinen. Dieſs alles kündiget uns also an, daſs es in dem Planetensysteme, unabhängig von der Hauptursache, welche die Planeten in elliptischen Bahnen um die Sonne führt, besondere Ursachen gebe, welche ihre Bewegungen stören, und auf die Länge die Elemente ihrer Ellipsen verändern.

Tafel

der elliptischen Bewegung der Planeten.

Siderische Umlaufszeiten.

Merkur	87,969255	Tage.
Venus	224,700817	
Erde	365,256384	
Mars	686,979579	
Jupiter	4332,602208	
Saturn	10759,077213	
Uranus	30689,000000	

Halbe grofse Achsen der Bahnen, oder mittlere Entfernungen.

Merkur	0,387100
Venus	0,723332
Erde	1,000000
Mars	1,523693
Jupiter	5,202792
Saturn	9,540724
Uranus	19,183620

Verhältnifs der Excentricität zur halben grofsen Achse für den Anfang des Jahrs 1750.

Merkur	0,205513
Venus	0,006885
Erde	0,016814

Mars	0,093088
Jupiter	0,048077
Saturn	0,056223
Uranus	0,046683

Seculare Veränderungen dieses Verhältnisses.

(Das Zeichen (—) zeigt Verminderung an.)

Merkur	0,00000003369
Venus	—0,00000062905
Erde	—0,00000045372
Mars	0,00000090685
Jupiter	0,00000134245
Saturn	—0,00000261553
Uranus	—0,00000026228

Mittlere Längen für den Anfang des Jahrs 175

(Diese Längen sind von der mittleren Frühlingsnachtgleiche an für den mittleren Mittag des 31sten Decembers 1749 zu Paris berechnet.)

Merkur	281°,3194
Venus	51,4963
Erde	311,1218
Mars	24,4219
Jupiter	4°,1201
Saturn	257,0438
Uranus	353,9619

Längen der Sonnennähe für den Anfang des Jahrs 1750.

Merkur	81°,7401
Venus	141,9759
Erde	309,5790
Mars	368,3006
Jupiter	11,5012
Saturn	97,9466
Uranus	185,1262

äderische und seculare Bewegung der Sonnennähe.
(Das Zeichen (—) zeigt rückläufige Bewegung an.)

Merkur	1735″,50
Venus	—698,07
Erde	3671,63
Mars	4834,57
Jupiter	2030,25
Saturn	4967,64
Uranus	759,85

Neigung der Bahn gegen die Ekliptik für den Anfang des Jahrs 1750.

Merkur	7°,7778
Venus	3,7701
Erde	0,0000
Mars	2,0556
Jupiter	1,4636
Saturn	2,7762
Uranus	0,8599

Seculare Veränderung der Neigung gegen wahre Ekliptik.

Merkur	55″,09
Venus	13,80
Erde	0,00
Mars	—4,45
Jupiter	—67,40
Saturn	—47,87
Uranus	9,38

Länge des aufsteigenden Knoten für den An des Jahrs 1750.

Merkur	50°,3836
Venus	82,7093
Erde	0,0000
Mars	52,9377
Jupiter	108,8062
Saturn	123,9327
Uranus	80,7015

Siderische und seculare Bewegung des Kno der wahren Ekliptik.

Merkur	—2332″,90
Venus	—5673,60
Erde	0,00
Mars	—7027,41
Jupiter	—4509,50
Saturn	—5781,54
Uranus	—10608,00

Sechstes Kapitel.

Von der Gestalt der Kometenbahnen und den Gesetzen ihrer Bewegung um die Sonne.

Da die Sonne im Brennpunkte der Planetenbahnen liegt, so ist es natürlich, anzunehmen, dafs sie auf gleiche Art auch im Brennpunkte der Kometenbahnen liege. Da aber diese Gestirne wieder verschwinden, nachdem sie sich einige Monate gezeigt haben, so sind ihre Bahnen, anstatt, wie die der Planeten, beynahe kreisförmig zu seyn, sehr in die Länge gezogen, und die Sonne ist dem Theile sehr nahe, in welchem sie sichtbar sind. Die Ellipse kann, vermöge der Abstufungen, deren sie vom Kreise bis zur Parabel fähig ist, zur Darstellung dieser verschiedenen Bahnen dienen. Die Analogie leitet uns also darauf, die Kometen in Ellipsen herumzuführen, in deren einem Brennpunkte die Sonne liegt, und sie darin nach den nämlichen Gesetzen, wie die Planeten, sich bewegen zu lassen, so dafs die durch ihre Radios Vectores beschriebenen Flächen den Zeiten proportionirt sind.

Es ist fast unmöglich, die Umlaufszeit eines Kometen, und folglich die grofse Achse

seiner Bahn durch Beobachtungen einer einzigen Erscheinung desselben kennen zu lernen; man kann daher auf solche Art auch die Fläche, die sein Radius Vector in einer gegebenen Zeit beschreibt, nicht genau bestimmen. Man muſs aber erwägen, daſs das von dem Kometen, während seiner Sichtbarkeit, beschriebene kleine Stück der Ellipse für eine Parabel genommen, und mithin seine Bewegung während dieser Zeit so berechnet werden kann, als ob sie parabolisch wäre.

Nach den Keplerischen Gesetzen verhalten sich die durch die Radios Vectores zweyer Planeten in gleicher Zeit beschriebenen Sectoren zusammen, wie die Flächen ihrer Ellipsen, dividirt durch die Quadrate ihrer Umlaufszeiten, diese Quadrate aber verhalten sich wie die Würfel der halben groſsen Achsen. Daraus kann man leicht schlieſsen, daſs, wenn man sich einen Planeten von einer kreisförmigen Bahn gedenkt, deren Halbmesser dem Abstande eines Kometen in der Sonnennähe gleich ist, der durch den Radius Vector des Kometen beschriebene Sector zu dem ihm zugehörigen, durch den Radius Vector des Planeten beschriebenen, Sector in dem Verhältnisse der Quadratwurzel des Abstandes der

Sonnenferne des Kometen zu der Quadratwurzel der halben grofsen Achse seiner Bahn stehen werde, welches Verhältnifs, wenn die Ellipse sich in eine Parabel verwandelt, den der Quadratwurzel aus 2 zu 1 gleich wird. Man hat also das Verhältnifs des Sectors des Kometen zu dem des erdichteten Planeten, und es ist, nach dem Vorhergehenden leicht, das Verhältnifs dieses letztern Sectors zu dem, welchen der Radius Vector der Erde in der nämlichen Zeit beschreibt, zu finden.

Man kann daher für jeden beliebigen Zeitpunkt die von dem Radius Vector des Kometen, seit seinem Durchgange durch die Sonnennähe beschriebene Fläche bestimmen, und seinen Stand in der Parabel, von welcher man annimmt, dafs er sie beschreibe, vestsetzen.

Man braucht alsdann nur noch aus den Beobachtungen die Elemente der parabolischen Bewegung, das heifst, die Entfernung des Kometen in der Sonnennähe, die Lage der Sonnennähe, den Augenblick des Durchgangs durch die Sonnennähe, die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik und die Lage ihrer Knoten herzuleiten. Aber die Untersuchung dieser fünf Elemente bietet gröfsere Schwierigkeiten

dar, als die der Elemente der Planeten, welche, da sie allezeit sichtbar, und schon seit einer langen Reihe von Jahren beobachtet sind, in den vortheilhaftesten Stellungen mit der Bestimmung dieser Elemente verglichen werden können, da hingegen die Kometen nur sehr kurze Zeit sichtbar sind, und oft unter Umständen, wo ihre scheinbare Bewegung wegen der wahren Bewegung der Erde, die wir ihnen immer in entgegengesetzter Richtung beylegen, sehr verwickelt ist. Dieser Schwierigkeiten ungeachtet ist man durch verschiedene Methoden zur Bestimmung der Elemente der Kometenbahnen gelangt. Drey vollständige Beobachtungen sind zu diesem Behufe mehr, als zureichend; alle übrigen dienen nur zur Bestätigung der Genauigkeit dieser Elemente, und der Richtigkeit der eben erklärten Theorie. Mehr als achtzig Kometen, deren zahlreiche Beobachtungen durch diese Theorie genau dargestellt werden, schützen sie gegen jeden Angriff. Demnach sind die Kometen, die man lange Zeit für Lufterscheinungen angesehen hat, von derselben Natur, wie die Planeten, und ihre Bewegungen und Zurückkünfte sind nach den nämlichen Gesetzen, wie die Bewegungen der Planeten, bestimmt.

Wir wollen hier bemerken, wie das wahre System der Natur bey seiner weitern Entwikkelung sich immer mehr und mehr bestätiget. Die Einfachheit der himmlischen Erscheinungen bey der Voraussetzung der Bewegung der Erde, verglichen mit ihrer äussersten Verwickelung bey der Voraussetzung ihrer Unbeweglichkeit macht die erstere dieser Voraussetzungen sehr wahrscheinlich. Die Gesetze der elliptischen Bewegung, die alsdann die Erde mit den Planeten gemein hat, vermehren diese Wahrscheinlichkeit sehr, die durch die Betrachtung, dafs, bey dieser Voraussetzung, auch die Bewegung der Kometen den nämlichen Gesetzen unterworfen ist, noch gröfser wird.

Die Kometen bewegen sich nicht, wie die Planeten, alle nach einerley Richtung; die einen haben eine wahre rechtläufige, andere aber eine rückläufige Bewegung. Die Neigungen ihrer Bahnen sind nicht, wie die der Planetenbahnen, in eine gerade Zone eingeschlossen, sondern man findet bey ihnen alle Verschiedenheiten der Neigung von der Bahn an, die in der Ebene der Ekliptik liegt, bis zu der, die auf ihr lothrecht ist.

Man erkennt einen Kometen bey seiner Wiedererscheinung an der Identität der Elemente seiner Bahn mit denen der Bahn eines schon beobachteten Kometen. Wenn der Abstand in der Sonnennähe, die Lage der Sonnennähe und der Knoten, und die Neigung der Bahn sehr nahe die nämlichen sind, so ist es sehr wahrscheinlich, dafs der erschienene Komet ein schon früher beobachteter ist, welcher, nachdem er sich bis auf eine Entfernung, wo er unsichtbar war, entfernt hatte, in den der Sonne nahe liegenden Theil seiner Bahn zurückkommt.

Da die Umlaufszeit der Kometen sehr lang, und diese Gestirne erst seit ungefähr zwey Jahrhunderten mit einiger Sorgfalt beobachtet worden sind, so kennt man bis jetzt nur die Umlaufszeit eines einzigen Kometen, nämlich dessen vom Jahre 1682, mit Gewifsheit, den man schon vorher in den Jahren 1607. und 1531. beobachtet hatte, und welcher im Jahre 1759. wieder erschienen ist. Dieser Komet braucht ungefähr 76 Jahre, um zu seiner Sonnennähe zurückzukommen; folglich ist, wenn man die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde für die Einheit annimmt, die grofse Achse seiner Bahn ungefähr

359; und da seine Entfernung in der Sonnennähe nur 0,58 beträgt, so entfernt er sich von der Sonne aufs wenigste 35mal mehr, als die Erde, und durchläuft eine sehr excentrische Ellipse. Die Zeit seiner Zurückkunft zur Sonnennähe war von 1531 bis 1607. um 13 Monate länger, als von 1607 bis 1682, hingegen war sie von 1607 bis 1682. um 18 Monate kürzer, als von 1682 bis 1759. Es scheint also, dafs ähnliche Ursachen, wie die, welche die elliptische Bewegung der Planeten verändern, die der Kometen auf eine noch merklichere Art stören.

Man hat die Zurückkunft von einigen andern Kometen vermuthet; die wahrscheinlichste davon war die des Kometen vom Jahre 1532, von welchem man glaubte, dafs er mit dem vom Jahre 1661, dessen Umlaufszeit man auf 129 Jahre gesetzt hat, der nämliche sey.

Da aber dieser Komet im Jahre 1790, wo man ihn erwartete, nicht wieder erschien, so hat man allen Grund, zu glauben, dafs diese zwey Kometen nicht einer und derselbe seyen. Dieſs muſs uns in unserm Urtheile über die Identität zweyer beobachteten Kometen sehr behutsam machen. Wir wollen versuchen, die Wahrscheinlichkeit

dieser Identität bey wenig verschiedenen Ele menten zu berechnen.

Wir wollen setzen, der Unterschied be trage nur einen Grad in der Neigung de Bahn, und in den Oertern des aufsteigend Knoten und der Sonnennähe, und nur ei Hunderttheil in Ansehung des Abstandes der Sonnennähe, wenn die mittlere Entfe nung der Sonne von der Erde für die Einhe angenommen wird. Wir wollen ferner sez zen, die Fehler der aus den Beobachtunge hergeleiteten Elemente, und die Veränderun gen, welche diese Elemente in der von eine Erscheinung des Kometen bis zur andern verflossenen Zeit leiden konnten, seyen in die vorigen Gränzen eingeschlossen, so daſs sich kein Anstand findet, die beyden Kome ten als einen und denselben anzusehen.

Die Neigung der Bahn eines neuen Ko meten gegen die Ekliptik kann eine von Nul bis auf die halbe Peripherie veränderlich Gröſse haben; wenn aber die Neigung grö ser ist, als hundert Grade, so ändert die Be wegung ihre Richtung; man kann also scho aus der Neigung allein angeben, ob die Bewe gung rechtläufig oder rückläufig sey. Di Wahrscheinlichkeit, daſs die Neigung de

Bah

Bahn eines neuen Kometen von der Neigung der Bahn eines alten sich nicht um mehr, als einen Grad darüber oder darunter, entfernen werde, ist demnach $\frac{2}{200}$ oder $\frac{1}{100}$ gleich. Die Lage des aufsteigenden Knoten eines neuen Kometen kann von 0 bis auf 400° unterschieden seyn. Die Wahrscheinlichkeit, dafs sie von der Lage des Knoten eines ehedem beobachteten Kometen um nicht mehr als einen Grad unterschieden seyn werde, ist folglich $\frac{1}{200}$. Eben so ist auch die Wahrscheinlichkeit, dafs die Lage der Sonnennähe eines neuen Kometen von der der Sonnennähe eines alten um nicht mehr als einen Grad unterschieden seyn werde, $\frac{1}{200}$. Wir wollen setzen, dafs auf gleiche Art auch der Abstand in der Sonnennähe in dem zwischen 0, und 1,5 eingeschlossenen Raume veränderlich seyn könne. Man hat zwar wirklich Kometen gesehen, deren Abstand in der Sonnennähe gröfser, als 1,5 war, aber diese Fälle sind so selten, dafs wir, bey diesem Versuche der Berechnung, nicht nöthig haben, darauf Rücksicht zu nehmen, da eine gröfsere Entfernung der Kometen in der Sonnennähe sie fast immer unsichtbar macht. Die Wahrscheinlichkeit, dafs die Entfernung eines neuen Kometen in der Sonnennähe von der

eines ehedem beobachteten nicht um ein H
derttheil unterschieden seyn werde, ist
sehr nahe $\frac{4}{300}$. Demnach wird die Wa
scheinlichkeit, dafs die Elemente eines nei
Kometen von denen eines alten nicht ü
die vorhin bestimmten Gränzen abweicl
werden, ein Product aus den vier Zahlen $\frac{1}{1}$
$\frac{1}{200}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{4}{300}$, und mithin dem Bruche $\frac{1}{3.(1}$
gleich seyn.

Um nun die Wahrscheinlichkeit, dafs
neue Komet mit dem vormals beobachteten
nämliche sey, zu bestimmen, giebt die Th
rie der Wahrscheinlichkeitsrechnung folgen
Regel: Multipliciret den Bruch $\frac{1}{3.(10)^8}$ n
der um Eins vermehrten Zahl der sichtbar
und noch nicht beobachteten Kometen, u
dividiret durch dieses um Eins vermeh
Product die Einheit, so wird der Quoti
die gesuchte Wahrscheinlichkeit seyn.

Wenn die Gränzen der Fehler der
den Beobachtungen hergeleiteten Eleme
gröfser, als die vorhinbestimmten sind,
mufs man anstatt des Bruchs $\frac{1}{3.(10)^8}$ das P
duct dieses Bruchs durch das der vier Z

len, welche ausdrücken, wie vielmal eine jede Gränze die im Vorigen angenommene Gränze enthalte, gebrauchen.

Da die Zahl der sichtbaren und noch nicht beobachteten Kometen unbekannt ist, so ist es unmöglich, die Wahrscheinlichkeit, um welche es hier zu thun ist, zu berechnen. Indessen kann man mit Wahrscheinlickeit glauben, dafs jene Zahl nicht gröfser, als eine Million sey. Setzt man sie aber dieser gleich, so sind 300 gegen Eins zu wetten, dafs ein Komet, dessen Elemente von denen eines alten nur um die oben bestimmten Gröfsen unterschieden sind, der nämliche mit diesem sey.

Da Halley die Elemente der Kometen von 1607 und 1682. auf solche Art verglich, konnte er mit einer Wahrscheinlichkeit von $\frac{1280}{1201}$ ankündigen, dafs diese zwey Kometen einer und derselbe seyen, und dafs solcher gegen die Mitte dieses Jahrhunderts wieder erscheinen würde. Die Furcht, sich darin zu betrügen, die zwar schon sehr klein war, wurde beynahe gleich Null, nachdem er in den Elementen des im Jahre 1531. beobachteten Kometen ungefähr die Elemente von diesem erkannt hatte; und für uns, die wir

den Kometen, im Jahre 1759. wieder geseh haben, ist sie vollends verschwunden.

Aber mit dem Kometen von 1532. v hält es sich nicht so. Seine Elemente si nach Apians und Fracastors Beobachtu gen bestimmt worden, welche so wenig g nau sind, dafs sie eine Ungewifsheit von 4 über die Lage des Knoten, von 10° über d Neigung, von 22° über die Lage der Sonne nähe, und von 0,17 über den Abstand in d Sonnennähe zurücklassen.

Man mufs folglich den Bruch $\frac{1}{3.(10}$ durch das Product 41. 10. 22. 17. multiplic ren, welches ihn auf 0,000517 bringt. Gese also, dafs es noch tausend sichtbare und noc nicht beobachtete Kometen gebe, was nich unwahrscheinlich ist, so würde die Wah scheinlichkeit, dafs die zwey Kometen v 1532 und 1661. der nämliche seyen, ung fähr $\frac{2}{3}$ seyn, welche viel zu klein ist, u die Identität zweyer Kometen auszusage Man darf sich also nicht darüber wunder dafs dieser Komet in diesen letzten Jahr nicht wieder erschienen ist.

Der neblichte Schein, womit die K meten fast immer umgeben sind, scheint v

Dünsten zu entstehen, welche die Sonnenhitze von ihrer Oberfläche erhebt. In der That begreift man leicht, dafs die grofse Hitze, die sie gegen ihre Sonnennähe erfahren, die Materien verdünnen mufs, welche die ausnehmende Kälte, die sie in ihren Sonnenfernen litten, in den vesten Zustand versetzte. Auch scheint es, dafs die Schweife der Kometen nichts anders als diese Dünste seyen, welche durch diese Verdünnung, verbunden entweder mit dem Stoffe der Sonnenstralen, oder mit der Auflösung dieser Dünste in derjenigen Flüssigkeit, welche uns das Zodiakallicht zusendet, auf sehr grofse Höhen erhoben worden. Dieſs scheint aus der Richtung dieser Schweife zu folgen, welche, in Ansehung der Sonne, immer hinter den Kometen liegen, und nicht eher als in der Gegend der Sonennähe sichtbar werden, und nicht eher ihr Maximum erreichen, als nach dem Durchgange durch diesen Punkt, wenn die den Kometen durch die Sonne mitgetheilte Hitze durch ihre Dauer und durch die Nähe dieses Gestirns angewachsen ist.

Siebentes Kapitel.

Von den Bewegungsgesetzen der Trabanten um ihre Planeten.

Wir haben im sechsten Kapitel des vorigen Buchs die Bewegungsgesetze des Trabanten der Erde, und seine beträchtlichsten Ungleichheiten erklärt, und haben also jetzt nur noch die der Trabanten des Jupiters, Saturns und Uranus zu betrachten.

Wenn man den Halbmesser des Aequators des Jupiters bey der mittlern Entfernung des Planeten von der Sonne 60″185 gleich setzt, und für die Einheit annimmt, so sind die mittlern Entfernungen seiner Trabanten von seinem Mittelpunkte sehr nahe folgende:

I. Trabant - -	5,697300
II Trabant - -	9,065898
III. Trabant - -	14,461628
IV. Trabant - -	25,436000

Ihre siderischen Umlaufszeiten sind folgende:

I. Trabant -	1,769137787069931 Tag
II. Trabant -	3,551181016734509
III. Trabant -	7,154552807541524
IV. Trabant -	16,689019396008634.

Die synodischen Umlaufszeiten der Trabanten oder die Zeiten zwischen ihren mittleren Conjunctionen mit dem Jupiter, lassen sich aus ihren und des Jupiters siderischen Umlaufszeiten leicht herleiten.

Im Anfange des Jahrs 1700. waren die mittlern Längen der Trabanten folgende:

I. Trabant	- -	85°,8491.
II. Trabant	- -	83,5827.
III. Trabant	- -	182,4495.
IV. Trabant	- -	253,1545.

Vergleicht man die Entfernungen der vier Jupiterstrabanten mit ihren Umlaufszeiten, so findet man zwischen diesen Gröfsen das schöne Verhältnifs, von welchem wir gesehen haben, dafs es zwischen den mittlern Entfernungen der Planeten von der Sonne und ihren Umlaufszeiten Statt habe; das heifst, dafs *die Quadrate der siderischen Umlaufszeiten der Trabanten sich zusammen verhalten, wie die Würfel ihrer mittlern Entfernungen von Jupiters Mittelpunkte.*

Die häufigen Verfinsterungen dieser Trabanten haben den Astronomen ein Mittel an die Hand gegeben, die Bewegungen derselben mit einer Genauigkeit zu verfolgen, die

man von der Beobachtung ihrer Entfernung vom Jupiter nicht erwarten kann. Sie haben zu folgenden Resultaten geführt.

Die Bahn des ersten Trabanten ist nicht merklich elliptisch; ihre Ebene fällt sehr nahe mit der des Aequators des Jupiters zusammen. Deren Neigung gegen die Bahn dieses Planeten 4°,4444 beträgt.

Auch die Bahn des zweyten Trabanten ist nicht merklich elliptisch. Ihre Neigung gegen die Bahn des Jupiters ist veränderlich, so wie die Lage ihrer Knoten. Alle diese Veränderungen werden beyläufig dargestellt, wenn man setzt, die Bahn des Trabanten sey gegen Jupiters Aequator ohngefähr um 5182″ geneigt, und ihren Knoten eine rückläufige Bewegung in dieser Ebene giebt, deren Perioden dreyſsig julianischen Jahren gleich ist.

Die Bahn des dritten Trabanten ist etwas elliptisch; das dem Jupiter am nächsten liegende Ende ihrer groſsen Achse, welches man das *Perijovium* (die *Jupitersnähe*) nennt, hat eine rechtläufige Bewegung und die Excentricität der Bahn scheint sehr merklichen Veränderungen unterworfen zu seyn. Gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts war die Mittelpunktsgleichung in ihrem Maxi-

mum, wo sie sich ohngefähr auf 2661″ erstreckte; nachher hat sie abgenommen, und gegen das Ende des Jahrs 1775 war sie in ihrem Minimum und betrug ohngefähr 759″. Die Neigung der Bahn dieses Trabanten gegen die des Jupiters und die Lage ihrer Knoten sind veränderlich. Diese Veränderungen lassen sich beyläufig darstellen, wenn man annimmt, die Bahn sey ohngefähr um 2244″ gegen Jupiters Aequator geneigt, und ihren Knoten eine rückläufige Bewegung in der Ebene dieses Aequators, in einer Periode von 137 Jahren, giebt.

Die Bahn des vierten Trabanten ist sehr merklich elliptisch; ihr Perijovium hat eine rechtläufige Bewegung von ohngefähr 7852″, und ihre Neigung gegen die Jupitersbahn beträgt 272′. Vermöge dieser Neigung tritt der vierte Trabant, in Ansehung der Sonne, oft hinter den Planeten, ohne verfinstert zu werden. Von der Entdeckung der Trabanten an bis auf das Jahr 1760 schien diese Neigung beständig zu seyn; sie hat aber in diesen letzten Jahren merklich zugenommen. Auf alle diese Veränderungen werden wir wieder zurückkommen, wenn wir die Ursache davon enthüllen werden.

Die Bewegungen der Jupiterstrabanten sind noch andern, von diesen Veränderungen unabhängigen Ungleichheiten unterworfen, welche ihre elliptischen Bewegungen stören, und ihre Theorie sehr verwickelt machen. Diese sind besonders merklich bey den drey ersten Trabanten, deren Bewegungen sehr merkwürdige Verhältnisse zeigen.

Ihre mittleren Bewegungen sind so beschaffen, dafs die des ersten Trabanten, sammt dem Doppelten von der des dritten dem Dreyfachen von der mittleren Bewegung des zweyten Trabanten sehr nahe gleich ist. Das nämliche Verhältnifs hat auch zwischen den mittleren synodischen Bewegungen Statt. Denn da die synodische Bewegung nichts anders ist, als der Ueberschufs der siderischen Bewegung eines Trabanten über die des Jupiters, so verschwindet, wenn man in dem vorigen Ausdrucke die synodischen Bewegungen an die Stelle der mittleren setzt, die mittlere Bewegung Jupiters, und die Gleichheit bleibt die nämliche.

Die mittleren, sowohl synodischen als siderischen Längen der drey ersten Trabanten aus Jupiters Mittelpunkte gesehen, sind so beschaffen, dafs der Ueberschufs von der des

ersten Trabanten über das Dreyfache von der des zweyten sammt dem Doppelten von der des dritten der halben Peripherie sehr nahe gleich ist.

Diese Gleichheit trift so nahe zu, dafs man versucht worden ist, sie für völlig genau anzusehen, und die sehr kleinen Gröfsen, um welche die beyden Theile von einander unterschieden sind, Beobachtungsfehlern zuzuschreiben.

Zum wenigsten kann man versichern, dafs sie noch eine lange Reihe von Jahrhunderten hindurch bestehen wird; daraus aber folgt, dafs von jetzt an auf eine grofse Zahl von Jahren hin die drey ersten Jupiterstrabanten nicht zugleich verfinstert werden können.

Die Perioden und die Gesetze der vornehmsten Ungleichheiten dieser Trabanten sind die nämlichen. Die Ungleichheit des ersten beschleunigt oder verspätet seine Verfinsterungen, in ihrem Maximum, um 233″ in Zeit.

Durch Vergleichung ihres Gangs mit den Stellungen der zwey ersten Trabanten gegen einander hat man gefunden, dafs sie verschwindet, wenn diese Trabanten, von

Jupiters Mittelpunkte aus gesehen, zu gleicher Zeit in Opposition mit der Sonne stehen; dafs sie nachher wächst, und am gröfsten wird, wenn der erste Trabant im Augenblicke seiner Opposition um 50° weiter vorgerückt ist, als der zweyte; dafs sie wieder gleich Null wird, wenn er um 100° weiter vorgerückt ist; dafs sie jenseits dieser Gränzen ein entgegengesetztes Zeichen annimmt, die Verfinsterungen verspätet, und wächst, bis die Entfernung der Trabanten 150° beträgt, wo sie ihr negatives Maximum erreicht; dafs sie von da an wieder abnimmt, und bey der Entfernung von 200° verschwindet; dafs sie endlich in der zweyten Hälfte der Peripherie den nämlichen Gesetzen, wie in der ersten, folgt.

Daraus hat man geschlossen, dafs bey der Bewegung des ersten Trabanten um den Jupiter eine Ungleichheit Statt habe, die in ihrem Maximum 5258″ beträgt, und dem Sinus des doppelten Ueberschusses der mittleren Länge des ersten Trabanten über die des zweyten proportionirt ist, welcher Ueberschufs dem Unterschiede der mittleren synodischen Längen der beyden Trabanten gleich ist. Die Periode dieser Ungleichheit beträgt nicht ganz 4 Tage. Wie es aber

komme, dafs sie, bey den Verfinsterungen des ersten Trabanten, sich in eine Periode von 437,75 Tagen verwandle, diefs wollen wir jetzt erklären.

Gesetzt der erste und zweyte Trabant gehen zu gleicher Zeit von ihren mittleren Oppositionen mit der Sonne aus, so wird der erste Trabant bey jedem Kreise, den er vermöge seiner mittleren synodischen Bewegung beschreiben wird, in seiner mittleren Opposition seyn. Gedenkt man sich nun einen erdichteten Stern, dessen Winkelbewegung dem Ueberschusse der mittleren synodischen Bewegung des ersten Trabanten über das Doppelte von der des zweyten gleich ist; so wird der doppelte Unterschied der mittleren synodischen Bewegungen der beyden Trabanten bey den Verfinsterungen des ersten einem Vielfachen der Peripherie, sammt der Bewegung des erdichteten Sterns gleich seyn; der Sinus dieser letzteren Bewegung wird also der Ungleichheit des ersten Trabanten bey den Verfinsterungen proportionirt seyn, und sie darstellen können. Ihre Periode ist der Zeit der Bewegung des erdichteten Sterns gleich, welche, nach den mittleren synodischen Be-

dieses erdichteten Sterns gleich seyn. Man sieht also den Grund, warum die Periode und das Gesetz dieser Ungleichheit die nämlichen sind, wie bey der Ungleichheit des ersten Trabanten.

Der Einfluſs des ersten Trabanten auf die Ungleichheit des zweyten ist sehr wahrscheinlich; wenn aber der dritte Trabant in der Bewegung des zweyten eine Ungleichheit hervorbringt, die derjenigen ähnlich ist welche der zweyte in der Bewegung des ersten zu verursachen scheint, das heiſst, eine solche, die dem Sinus des doppelten Unterschieds der mittleren Längen des zweyten und dritten Trabanten proportionirt ist so wird diese neue Ungleichheit mit derjenigen, welche man dem ersten Trabanten zuzuschreiben hat, sich vermischen. Denn vermöge des oben erläuterten Verhältnisses, welches die mittleren Längen der drey ersten Trabanten zu einander haben, ist der Unterschied der mittleren Längen der zwey ersten Trabanten gleich der halben Peripherie sammt dem doppelten Unterschiede der mittleren Längen des zweyten und dritten Trabanten, so daſs der Sinus des ersten Unterschieds mit dem Sinus von dem Doppel-

ten des zweyten Unterschieds einerley ist, aber mit einem entgegengesetzten Zeichen. Die durch den dritten Trabanten in der Bewegung des zweyten verursachte Ungleichheit hätte also das nämliche Zeichen, und folgte dem nämlichen Gesetze, wie die bey dieser Bewegung beobachtete Ungleichheit; es ist daher sehr wahrscheinlich, dafs diese Ungleichheit das Resultat der zwey von dem ersten und dritten Trabanten abhangenden Ungleichheiten ist. Wenn, nach Verlauf von Jahrhunderten, das vorige Verhältnifs zwischen den mittleren Längen dieser drey Trabanten Statt zu finden aufhörte, so würden die beyden jetzt vermischten Ungleichheiten sich von einander absondern, und man würde ihren respectiven Werth entdekken können. Aber, nach den Beobachtungen mufs dieses Verhältnifs sehr lange Zeit bestehen, und wir werden im vierten Buche sehen, dafs es genau ist.

Endlich zeigt die Ungleichheit in Ansehung des dritten Trabanten bey seinen Verfinsterungen, verglichen mit den gegenseitigen Stellungen des zweyten und dritten, die nämlichen Verhältnisse, wie die Ungleichheit des zweyten, verglichen mit den gegenseiti-

gen Stellungen der zwey ersten Trabanten. Es findet sich also bey der Bewegung der dritten Trabanten eine Ungleichheit, die den Sinus des Ueberschusses der mittleren Länge des zweyten Trabanten über die des dritten proportionirt ist, und in ihrem Maximum 827″ beträgt. Wenn man sich nun einen Stern gedenkt, dessen Winkelbewegung den Ueberschusse der mittleren synodischen Bewegung des zweyten Trabanten über das Doppelte der mittleren synodischen Bewegung des dritten gleich ist, so wird die Ungleichheit des dritten Trabanten, bey seinen Verfinsterungen, dem Sinus der Bewegung dieses erdichteten Sterns proportionirt seyn. Nun ist, vermöge des Verhältnisses, welches zwischen den mittleren Längen der drey Trabanten Statt hat, der Sinus dieser Bewegung, bis auf das Zeichen, einerley mit dem der Bewegung des ersten erdichteten Sterns, den wir vorhin betrachtet haben. Die Ungleichheit des dritten Trabanten bey seinen Verfinsterungen hält also die nämliche Periode und folgt den nämlichen Gesetzen, wie die Ungleichheiten der beyden ersten.

Dieſs ist der Gang der vornehmsten Ungleichheiten der drey ersten Jupiterstraban-

ten. Ihre Uebereinstimmung und die der mittleren Bewegungen und der mittleren Längen scheinen ein besonderes System dieser drey von gemeinschaftlichen Kräften belebten, und durch gemeinschaftliche Verhältnisse zusammen verbundenen Körper auszumachen.

Wir wollen jetzt die Saturnstrabanten betrachten. Wenn man den Halbmesser dieses Planeten in seiner mittleren Entfernung von der Sonne für die Einheit annimmt, so sind die Entfernungen der Trabanten von seinem Mittelpunkte folgende:

I.	3,080
II.	3,952
III.	4,893
IV.	6,268
V.	8,754
VI.	20,295
VII.	59,154

Ihre siderischen Umlaufszeiten sind

I.	0,94271 Tage
II.	1,37024
III.	1,88780
IV.	2,73948

V. - - 4/51749 Tage.
VI. - - 15/9453
VII. - - 79/3296

Vergleicht man die Umlaufszeiten dieser Trabanten mit ihren mittleren Entfernungen von Saturns Mittelpunkte, so findt man auch hier wieder das schöne, in Absicht auf die Planeten von Keplern entdeckte Verhältnifs, von welchem wir gesehen haben, dafs es in dem Systeme der Jupitertrabanten Statt habe; das heifst, dafs *die Quadrate der Umlaufszeiten der Saturnstrabanten sich zusammen verhalten wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen von dem Mittelpunkte dieses Planeten.*

Die grofse Entfernung der Saturnstrabanten, und die Schwierigkeit, ihren Stand zu beobachten, hat es nicht verstattet, die elliptische Gestalt ihrer Bahnen, und noch weniger, die Ungleichheiten zu erkennen, denen ihre Bewegungen unterworfen sind Indessen ist die Bahn des sechsten Trabanten merklich elliptisch.

Setzt man den Durchmesser des Uranus in seiner mittleren Entfernung von der Sonne 6″ gleich, und nimmt solchen für die Ein-

heit an, so sind die Entfernungen seiner Trabanten von seinem Mittelpunkte

I. - - 17,022
II. - - 22,752

Ihre siderischen Umlaufszeiten sind

I. - - 8,7068 Tage.
II. - - 13,4559

Vergleicht man diese Zeiten und diese Entfernungen mit einander, so sieht man, dafs *die Quadrate der Umlaufszeiten dieser Trabanten sich wie die Würfel ihrer mittleren Entfernungen vom Mittelpunkte dieses Planeten verhalten.* Dieses Verhältnifs ist folglich ein allgemeines Bewegungsgesetz für ein System von Körpern, die um einen gemeinschaftlichen Brennpunkt laufen.

Welches sind nun die vornehmsten Kräfte, welche die Planeten, Trabanten und Kometen in ihren respektiven Bahnen erhalten? Welche besonderen Kräfte stören ihre elliptischen Bewegungen? Welche Ursache bewirkt das Zurückgehen der Nachtgleichen, und die Bewegungen der Achse der Erde und des Monds? Durch welche Kräfte wird endlich das Wasser des Meeres täglich zweymal in die Höhe gezogen? Die Voraussetzung

eines einzigen Grundsatzes, wovon alle die Wirkungen abhangen, ist der Einfachhe und Majestät der Natur würdig. Die Allg meinheit der Gesetze, welche die himml schen Bewegungen zeigen, scheint auf d Daseyn eines solchen Anzeige zu thun; man sieht diesen Grundsatz selbst schon i den Verhältnissen dieser Erscheinungen z der gegenseitigen Lage der Körper des So nensystems durchschimmern. Um ihn ab mit Evidenz daraus herzuleiten, mufs m die Bewegungsgesetze der Materie kennen.

Drittes Buch.

Von den Gesetzen der Bewegung.

Mitten unter der unendlichen Mannichfaltigkeit der Erscheinungen, die auf unserer Erde beständig auf einander folgen, ist man zur Entdeckung einer kleinen Zahl allgemeiner Gesetze gelangt, welchen die Erde bey ihren Bewegungen folgt. Alles in der Natur gehorcht ihnen, alles fließt daraus eben so nothwendig her, als die Wiederkunft der Jahrszeiten; und die von einem leichten Atome, den die Winde ganz aufs Blinde hin fortzuführen scheinen, beschriebene Curve ist auf eine eben so sichere Art vorgeschrieben, als die Planetenbahnen.

Die Wichtigkeit dieser Gesetze, wovon wir ohne Aufhören abhangen, hätte die Forschbegierde zu allen Zeiten rege machen müssen; aber, durch eine dem menschlichen Geiste nur zu gewöhnliche Gleichgültigkeit, blieben

sie bis zum Anfange des vorigen Jahrhunderts unbekannt, da Galilei die ersten Gründe zu der Wissenschaft von der Bewegung, durch seine schönen Entdeckungen über den Fall der Körper, legte.

Die Geometer, welche die Fufstapfen dieses grofsen Mannes verfolgten, haben endlich die ganze Mechanik auf allgemeine Formeln gebracht, welche, ausser einer gröfsern Vervollkommnung der Analysis, nichts weiter zu wünschen übrig lassen.

Erstes Kapitel.

Von den Kräften und ihrer Zusammensetzung.

Ein Körper scheint uns in Bewegung zu seyn, wenn er seine Lage, in Beziehung auf ein System von Körpern, von welchen wir annehmen, dafs sie in Ruhe seyen, ändert. So scheinen uns, in einem mit gleichförmiger Bewegung fortgehenden Schiffe, die Körper sich zu bewegen, wenn sie nach und nach mit den verschiedenen Theilen desselben zusammengehören. Diese Bewegung ist blofs relativ; denn das Schiff bewegt sich auf der

erfläche des Meers, welches sich um die hse der Erde drehet, deren Mittelpunkt sich n die Sonne bewegt, welche selbst wie- rum, sammt der Erde und den Planeten im eltraume fortgeführt wird. Um bey diesen ewegungen eine Gränze zu gedenken, und dlich zu vesten Punkten zu gelangen, von elchen an man die absolute Bewegung der örper rechnen könne, bildet man sich einen nbegränzten, unbeweglichen, und von der laterie durchdringlichen Raum ein. Auf die heile dieses, wirklichen oder eingebildeten, aums beziehen wir in Gedanken die Lage r Körper, und gedenken sie in Bewegung, enn sie nach und nach mit verschiedenen rtern dieses Raums zusammentreffen.

Die Natur dieser sonderbaren Modifica- n, vermöge welcher ein Körper aus einem te in einen andern versetzt wird, ist bis zt unbekannt, und wird es ferner bleiben. an hat sie mit dem Namen der *Kraft* be- chnet, aber man kann blofs ihre Wirkun- , und die Gesetze ihrer Wirkungsart be- nmen.

Die Wirkung einer Kraft auf einen ma- iellen Punkt, ist, ihn in Bewegung zu sez- , wofern sich dieser nichts widersetzt. Die

Richtung der Kraft ist die gerade Linie, welche sie ihn zu beschreiben treibt. Man übersieht leicht, dafs, wenn zwey Kräfte in der nämlichen Richtung wirken, sie sich mit einander verbinden, und dafs, wenn sie in entgegengesetzter Richtung wirken, der Punkt sich nur nach Maafsgabe ihres Unterschieds bewegt, so dafs er, wenn sie gleich wären, ganz in Ruhe bleiben würde.

Wenn die Richtungen zweyer Kräfte einen Winkel mit einander machen, so wird ihr Resultat, die mittlere Kraft, eine mittlere Richtung annehmen, und man beweifst, blofs durch die gemeine Geometrie, dafs, wenn man auf den Richtungen der beyden Kräfte, von dem Punkte an, wo sie einander schneiden, zwey Linien nimmt (*die sich wie die Kräfte verhalten*), um sie darzustellen, und das Parallelogramm unter diesen Linien vollendet, die Diagonale desselben ihr Resultat, die mittlere Kraft, der Richtung und Gröfse nach, vorstellen werde.

Man kann für zwey zusammensetzende (*äussere*) Kräfte ihre mittlere, und umgekehrt, für jede Kraft zwey andere setzen, für deren mittlere sie angesehen werden kann; man kann daher eine Kraft in zwey andere zerlegen, die zwey in der Ebene von jener lie-

genden Achsen parallel, und auf einander lothrecht sind. Dazu braucht man nur durch den einen Endpunkt der geraden Linie, welche diese Kraft vorstellt, zwey diesen Achsen parallele Linien zu ziehen, und das Rechteck unter diesen zu vollenden, das diese gerade Linie zur Diagonale hat, so werden dessen Seiten die Kräfte vorstellen, in welche die vorgegebene, in paraller Richtung mit den Achsen, sich zerlegen läfst.

Wenn die Kraft gegen eine, der Lage nach gegebene Ebene geneigt ist, und man nimmt auf ihrer Richtung, von dem Punkte an, wo sie der Ebene begegnet, eine gerade Linie, um sie darzustellen; so wird das von dem Endpunkte dieser Linie auf die Ebene gefällte Loth, die anfängliche Kraft in lothrechter Richtung auf diese Ebene, die gerade Linie aber, welche die Endpunkte der die anfängliche Kraft vorstellenden Linie und des Loths in der Ebene verbindet, wird eben diese Kraft, in paralleler Richtung mit dieser Ebene zerlegt vorstellen. Diese zweyte Partialkraft kann nun selbst wiederum in zwey andere, zwey in der Ebene liegenden Achsen parallele, und auf einander lothrechte Kräfte zerlegt werden. Folglich läfst sich jede Kraft

in drey andere, eben so vielen auf eina lothrechten Achsen parallele, zerlegen.

Daraus ergiebt sich ein einfaches Mittel Resultat jeder beliebigen Zahl von Kräften auf einen materiellen Punkt wirken, zu e ten. Denn wenn man jede derselben in andere eben so vielen der Lage nach gegeb Achsen parallele, und auf einander lothre zerlegt, so ist klar, dafs alle der nämli Achse parallelen Kräfte sich auf eine ein zurückführen lassen, welche gleich ist Summe derer, die nach einerley Richt weniger der Summe derer, die nach der gegengesetzten Richtung wirken. So also der Punkt von drey auf einander l rechten Kräften getrieben werden; und v man auf jeder von den Richtungen de ben, von dem Punkte an, wo sie eina schneiden, drey gerade Linien nimmt, sie darzustellen, und das rechtwinklicht rallelepipedon unter diesen Linien voller so wird die Diagonale dieses Körpers Resultat aus allen Kräften, die auf di Punkt wirken, der Gröfse und Richtung darstellen.

Zweytes Kapitel.

Von der Bewegung eines materiellen Punkts.

Ein in Ruhe befindlicher Punkt kann sich selbst keine Bewegung geben, weil in ihm kein Grund liegt, sich vielmehr nach der einen als nach einer andern Richtung zu bewegen. Wenn er durch eine Kraft getrieben, und sofort sich selbst überlassen wird, so bewegt er sich, wofern er keinen Widerstand findet, beständig auf eine gleichförmige Art, das heifst so, dafs für jeden Augenblick seine Kraft, und die Richtung seiner Bewegung die nämlichen sind. Diefs Bestreben der Materie, in ihrem Zustande der Ruhe oder der Bewegung zu beharren, hat man *Trägheit* genannt. Und diefs ist das erste Bewegungsgesetz der Körper.

Die geradlinigte Richtung der Bewegung folgt offenbar daraus, dafs kein Grund vorhanden ist, warum der Punkt vielmehr zur Rechten als zur Linken von seiner anfänglichen Richtung abweichen sollte; aber die Gleichförmigkeit seiner Bewegung ist nicht von gleicher Evidenz. Da die Natur der bewegenden Kraft unbekannt ist, so ist es un-

möglich, a priori zu wissen, ob diese Kraft sich ohne Aufhören erhalten müsse.

In der That, da ein Körper unfähig ist, sich selbst eine Bewegung zu geben, so scheint er eben so unfähig zu seyn, die erhaltene zu verändern, so dafs also das Gesetz der Trägheit wenigstens das natürlichste und einfachste ist, das man sich denken kann. Es ist überdiefs durch die Erfahrung bestätiget; denn wir bemerken auf der Erde, dafs die Bewegungen in eben dem Maafse länger fortdauern, als die Hindernisse, die sich ihnen widersetzen, vermindert werden, und dieß veranlafst uns zu glauben, dafs sie, ohne diese Hindernisse, beständig fortdauern würden. Aber besonders merkwürdig ist die Trägheit der Materie bey den himmlischen Bewegungen, welche seit einer grofsen Zahl von Jahrhunderten keine merkliche Veränderung erlitten haben. Wir werden also die Trägheit als ein Naturgesetz betrachten, und wo wir bey der Bewegung eines Körpers eine Veränderung bemerken werden, annehmen, dafs solche der Wirkung einer äussern Ursache zuzuschreiben sey.

Bey der gleichförmigen Bewegung sind
e durchloffenen Räume den Zeiten propor-
onirt. Aber die zu Beschreibung eines be-
immten Raums angewandten Zeiten, sind,
ich der Gröfse der bewegenden Kraft, mehr
ler weniger lang. Diese Unterschiede ha-
n den Begriff von Geschwindigkeit erzeugt,
elcher, bey der gleichförmigen Bewegung,
s Verhältnifs des Raums zu der auf dessen
ırücklegung verwandten Zeit ist. Um nicht
gleichartige Gröfsen, dergleichen Raum und
it sind, mit einander zu vergleichen, nimmt
ın einen Zeittheil, z. B. die Secunde, für
e Einheit der Zeit, und wählt dazu eine
nheit des Raums, z. B. den Fufs, alsdann
ıd Raum und Zeit abstrakte Zahlen, welche
sdrücken, wie viele Einheiten ihrer Art sie
thalten, und man kann sie daher mit ein-
der vergleichen. So wird also die Ge-
ıwindigkeit das Verhältnifs zweyer ab-
acten Zahlen, und ihre Einheit ist die Ge-
hwindigkeit eines Körpers, welcher einen
ıfs in einer Secunde durchläuft. Wenn
an auf solche Art, den Raum, die Zeit und
e Geschwindigkeit auf abstracte Zahlen
ingt, so sieht man, dafs der Raum dem
rodukte aus der Geschwindigkeit durch die

Zeit, und mithin die Zeit dem Quotienten aus dem durch die Geschwindigkeit dividirten Raume gleich ist.

Da die Kraft nur durch den Raum bekannt ist, welchen sie den Körper in einer bestimmten Zeit zurückzulegen treibt, so ist es natürlich, diesen Raum für ihr Maafs anzunehmen. Dieſs setzt aber voraus, daſs mehrere nach einerley Richtung wirkende Kräfte, während einer Zeiteinheit, einen Raum zu durchlaufen treiben werden, welcher der Summe der Räume gleich ist, die jede von ihnen besonders würde zu durchlaufen getrieben haben, oder, was auf eben das hinausläuft, daſs die Kraft der Geschwindigkeit proportionirt ist.

Allein dieses können wir, aus Mangel an Kenntniſs von der Natur der bewegenden Kraft, nicht a priori wissen, und müssen daher auch noch über diesen Gegenstand die Erforschung zu Rathe ziehen. Denn alles, was nicht eine nothwendige Folge aus den wenigen Bestimmungen ist, die uns über die Natur der Dinge gegeben sind, ist für uns bloſs ein Resultat der Beobachtung.

Die Kraft kann durch eine unendliche Menge von Funktionen der Geschwindigkeit,

welche

lche nichts widersprechendes enthalten, gedrückt werden. Es liegt aber nichts derchen in der Voraussetzung, dafs sie dem drate der Geschwindigkeit proportionirt

Bey dieser Voraussetzung ist es leicht Bewegung eines durch jede beliebige Zahl Kräften, deren Geschwindigkeiten bent sind, getriebenen Punkts zu bestim-. Denn wenn man auf den Richtungen er Kräfte, von dem Punkte an, da sie mmentreffen, gerade Linien nimmt, um Geschwindigkeiten darzustellen, und man mt ferner auf den nämlichen Richtun-, und von dem nämlichen Punkte an, re gerade Linien, die sich zusammen ver-n, wie die Quadrate der erstern, so könndiese Linien die Kräfte selbst vorstellen. man sie sofort auf die oben beschrieArt zusammen, so erhält man die Richihres Resultats, so, dafs die Linie, die ausdrückt, zu dem Quadrate der zugegen Geschwindigkeit sich verhalten wird, die Linie, welche eine der zusammennden Kräfte vorstellt, zu dem Quadrate Geschwindigkeit. Man sieht hieraus, man die Bewegung eines Punkts bestimkann, welches auch immer, unter allen

mathematisch möglichen Functionen, die Function der Geschwindigkeit seyn mag, die die Kraft ausdrückt. Wir wollen nun untersuchen, welches die in der Natur wirklich Statt habende sey.

Man bemerkt auf der Erde, dafs ein durch eine Kraft getriebener Körper sich auf einerley Art bewegt, wie auch immer der Winkel beschaffen seyn mag, den die Richtung dieser Kraft mit der Richtung der dem Körper und dem mit ihm zusammengehörigen Theile der Erdoberfläche gemeinschaftlichen Bewegung einschliefst. Eben dieſs ist der Fall bey einem Schiffe, dessen Bewegung gleichförmig ist; ein beweglicher Körper, der der Wirkung einer Feder, der Schwere oder jeder andern Kraft ausgesetzt wird, bewegt sich in Beziehung auf die Theile des Schiffs, auf einerley Art, wie auch immer die Geschwindigkeit des Schiffs und seine Richtung beschaffen seyn mag. Man kann daher den Satz, dafs, wenn man in einem Systeme von Körpern, die mit einer gemeinschaftlichen Bewegung fortgeführt werden, einem derselben irgend eine Kraft eindrückt, seine relative oder scheinbare Bewegung die nämliche seyn werde, wie auch immer die

lgemeine Bewegung des Systems, und der
inkel, den ihre Richtung mit der der ein-
drückten Kraft macht, beschaffen seyn mö-
n, als ein allgemeines Bewegungsgesetz der
dkörper aufstellen.

Setzt man dieses Gesetz als genau vor-
s, so folgt daraus die Proportionalität der
aft mit der Geschwindigkeit. Denn wenn
an sich zwey Körper gedenkt, die sich
f einerley geraden Linie mit gleichen
eschwindigkeiten bewegen, so dafs, wenn
nem von ihnen eine Kraft eingedrückt wird,
e sich mit der erstern vereinigt, seine Ge-
hwindigkeit in Ansehung des andern Kör-
rs die nämliche ist, wie wenn die beyden
örper anfänglich in Ruhe gewesen wären,
ist offenbar, dafs alsdann der von dem
örper, vermöge seiner anfänglichen und der
m zugesetzten Kraft, durchloffene Raum
r Summe der Räume gleich ist, durch wel-
e jede derselben besonders ihn in der näm-
chen Zeit würde geführt haben. Dieſs setzt
ber voraus, dafs die Kraft der Geschwindig-
eit proportionirt sey.

Umgekehrt, wenn die Kraft der Ge-
chwindigkeit proportionirt ist, so sind die
elativen Bewegungen eines Systems von Kör-

pern, die von bewegenden Kräften getrieben werden, die nämlichen, wie auch immer ihre gemeinschaftliche Bewegung beschaffen seyn mag. Denn wenn diese Bewegung in drey andere, eben so vielen unbeweglichen Achsen parallele zerlegt wird, so vermehrt sie blofs die partialen Geschwindigkeiten jedes Körpers, in paralleler Richtung mit diesen Achsen, um einerley Gröfse; und da die relative Geschwindigkeit blofs von dem Unterschiede dieser partialen Geschwindigkeiten abhängt, so ist sie die nämliche, wie auch immer die allen Körpern gemeinschaftliche Bewegung beschaffen seyn mag. Daher ist es alsdann unmöglich, von der absoluten Bewegung eines Systems, wovon man selbst einen Theil ausmacht, nach den Erscheinungen, die man in demselben bemerkt, zu urtheilen. Und eben dieses ist das Merkmal dieses Gesetzes, vor dessen Kenntnifs man das wahre Weltsystem nicht kennen lernen konnte, wegen der Schwierigkeit, die relativen Bewegungen geworfener Körper über der Oberfläche der Erde, bey einer doppelten Bewegung der letztern, nämlich der Umdrehung um sich selbst und dem Umlaufe um die Sonne sich vorzustellen.

Aber wegen der äussersten Kleinheit auch der beträchtlichsten Bewegungen, die wir den Körpern ertheilen können, in Vergleichung mit der Bewegung, die sie mit der Erde fortführt, braucht es, um die Erscheinungen eines Systems von Körpern von der Richtung dieser Bewegung unabhängig zu machen, nichts weiter, als dafs ein kleiner Zuwachs der Kraft, von welcher die Erde getrieben wird, zu der ihm zugehörigen Zunahme ihrer Geschwindigkeit in dem Verhältnisse eben dieser Grösen stehe. Unsere Erfahrungen beweisen also nur die Realität dieser Proportion, welche, wenn sie Statt hätte, wie auch immer die Geschwindigkeit der Erde beschaffen seyn möchte, das Gesetz der der Kraft proportionirten Geschwindigkeit geben würde. Sie würde dieses Gesetz auch dann noch geben, wenn die Function der Geschwindigkeit, welche die Kraft ausdrückt, nur aus einem einzigen Gliede bestünde. Man müfste also, wenn die Geschwindigkeit nicht der Kraft proportionirt wäre, annehmen, dafs in der Natur die Function der Geschwindigkeit, welche die Kraft ausdrückt, aus mehrern Gliedern bestehe, was nicht wahrscheinlich ist. Man müfste ferner voraussetzen, dafs die Geschwin-

digkeit der Erde genau diejenige sey, die der vorigen Proportion gemäfs ist, was gegen alle Wahrscheinlichkeit ist. Ausserdem ist die Geschwindigkeit der Erde zu verschiedenen Jahrszeiten verschieden; sie ist im Winter ungefähr um ein Dreyfsigstel gröfser, als im Sommer, diese Veränderung ist noch beträchtlicher, wenn, wie es alles anzuzeigen scheint, das Sonnensystem im Weltraume in Bewegung ist. Denn je nachdem diefs Fortrücken mit der Bewegung der Erde nach einerley oder nach entgegengesetzter Richtung erfolgt, müssen im Verlaufe des Jahrs grofse Veränderungen in der absoluten Bewegung der Erde daraus entstehen; welches die erwähnte Proportion, und das Verhältnifs der eingedrückten Kraft zu der daraus entstehenden relativen Geschwindigkeit ändern müfste, wenn diese Proportion und dieses Verhältnifs nicht von der Bewegung der Erde unabhängig wäre. Indessen lassen die genauesten Versuche dabey keine merkliche Veränderung gewahrnehmen.

Alle himmlischen Erscheinungen verstärken diese Beweise. Die Geschwindigkeit des Lichts, wie sie durch die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten bestimmt wird, verbin-

let sich mit der Erde genau so, wie bey dem
esetze der Proportionalität der Kraft mit der
eschwindigkeit und alle nach diesem Gesetze
erechneten Bewegungen des Sonnensystems
immen vollkommen mit den Beobachtungen
berein.

Hier sind also zwey Bewegungsgesetze,
imlich das Gesetz der Trägheit, und das der
roportionalität der Kraft mit der Geschwin-
gkeit, die durch die Beobachtung gegeben
id. Sie sind die natürlichsten und einfach-
en, die man sich denken kann, und ohnei
weifel fliefsen sie aus der Natur der Materie
lbst her; da aber diese Natur unbekannt ist,
sind diese Gesetze für uns blofs beobachte
e Thatsachen, übrigens die einzigen, wel-
e die Mechanik von der Erfahrung entlehnt.

Da die Geschwindigkeit der Kraft propor-
mirt ist, so kann von diesen zwey Gröfsen
le durch die andere dargestellt werden;
m wird also, nach dem Vorhergehenden,
e Geschwindigkeit eines zur Bewegung ge-
ebenen Punkts durch eine Zahl von Kräf-
n, deren Richtungen und Geschwindigkei-
n man kennt, erhalten.

Wenn der Punkt durch stetig wirkende
räfte getrieben wird, so wird er mit einer

stets veränderlichen Bewegung eine Curve beschreiben, deren Natur von den Kräften, die ihn durch dieselbige führen, abhängt. Um sie zu bestimmen, muſs man die Curve in ihren Elementen betrachten, sehen, wie diese aus einander entstehen, und von dem Gesetze des Wachsthums der Coordinaten auf ihren endlichen Ausdruck zurückgehen. Hier wird die Infinitesimalrechnung unentbehrlich, und man erfährt es, wie nützlich es sey, dieſs wichtige Werkzeug des menschlichen Geistes zu vervollkommnen.

Wir haben an der Schwere ein tägliches Beyspiel von einer Kraft, die ununterbrochen zu wirken scheint. In der That wissen wir zwar nicht, ob nicht ihre auf einander folgenden Wirkungen durch Zeittheile getrennt sind, deren Dauer unmerklich ist; da aber bey dieser Voraussetzung die Erscheinungen sehr nahe die nämlichen sind, wie bey der einer stetigen Wirkung, so haben die Geometer die letztere, als die bequemere und einfachere, angenommen. Wir wollen nun die Gesetze dieser Erscheinungen entwickeln.

Die Schwere scheint auf gleiche Art im Zustande der Ruhe, wie in dem der Bewegung auf die Körper zu wirken. Im ersten

Augenblicke erhält ein ihrer Wirkung überlassener Körper einen unendlich kleinen Grad der Geschwindigkeit; im zweyten Augenblicke kommt zu dem vorigen ein neuer Grad von Geschwindigkeit hinzu, und so fort in den übrigen, so daſs die Geschwindigkeit im Verhältnisse der Zeiten wächst.

Gedenkt man sich ein rechtwinklichtes Dreyeck, dessen eine Seite die Zeit vorstellt, und mit ihr wächst, so wird die andere Seite die Geschwindigkeit vorstellen können. Da das Element der Fläche des Dreyecks dem Produkte aus dem Elemente der Zeit durch die Geschwindigkeit gleich ist, so wird es das Element des Raums vorstellen, durch welchen die Schwere den Körper führt; dieser ganze Raum wird also durch die ganze Fläche des Dreyecks dargestellt werden, die, indem sie, wie das Quadrat von einer ihrer Seiten wächst, uns zeigt, daſs bey der durch die Wirkung der Schwere beschleunigten Bewegung die Geschwindigkeiten wachsen, wie die Zeiten, und die Höhen, von welchen der Körper fällt, nachdem er den Zustand der Ruhe verläſst, wie die Quadrate der Zeiten, oder der Geschwindigkeiten. Wenn man daher den Raum, durch welchen ein Körper in

der ersten Secunde fällt, durch die Einheit ausdrückt, so wird er in zwey Secunden durch vier, in drey Secunden durch neun Einheiten, und so weiter, fallen, so dafs er in jeder Secunde Räume beschreiben wird, die wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 etc. etc. wachsen.

Der Raum, den ein Körper, vermöge der am Ende seines Falls erlangten Geschwindigkeit, in einer, der Dauer des Falls gleichen Zeit beschreiben würde, würde das Produkt dieser Zeit durch seine Geschwindigkeit seyn; dieſs Produkt aber ist das Doppelte von der Fläche des Dreyecks; folglich würde ein sich gleichförmig bewegender Körper, vermöge seiner erlangten Geschwindigkeit in einer der Dauer seines Falls gleichen Zeit, den doppelten Raum von dem, welchen er durchloffen hat, zurücklegen.

Das Verhältniſs der erlangten Geschwindigkeit zu der Zeit ist für einerley beschleunigende Kraft beständig; es wächst, oder nimmt ab, je nachdem solche mehr oder weniger groſs sind, und kann also dienen, sie auszudrücken. Da das Doppelte des durchloffenen Raums das Produkt aus der Zeit durch die Geschwindigkeit ist, so ist die be-

schleunigende Kraft diesem doppelten Raume, dividirt durch das Quadrat der Zeit, gleich. Es ist aber auch dem Quadrate der Geschwindigkeit, dividirt durch diesen doppelten Raum, gleich. Diese drey verschiedene Arten, die beschleunigenden Kräfte auszudrücken, sind unter verschiedenen Umständen nützlich; sie geben nicht die absoluten Werthe dieser Kräfte, sondern blos ihre Verhältnisse, sowohl unter einander, als mit einer von ihnen, die für die Einheit angenommen worden; und in der Mechanik hat man blos diese Verhältnisse nöthig.

Auf einer schiefen Ebene läßt sich die Wirkung der Schwere in zwey andere zerlegen; wovon die eine auf der Ebene lothrecht ist, und durch ihren Widerstand aufgehoben wird, die andere aber der Ebene parallel ist, und sich zur ursprünglichen Schwere verhält, wie die Höhe der Ebene zu ihrer Länge. Die Bewegung wird daher auf den schiefen Ebenen gleichförmig beschleunigt; aber die Geschwindigkeiten und die durchloffenen Räume verhalten sich zu den Geschwindigkeiten und zu den in der nämlichen Zeit durchloffenen Räumen, bey

der lothrechten Bewegung, wie die Höhe der Ebene zu ihrer Länge.

Daraus folgt, dafs alle Chorden eines Kreises, die einen Endpunkt mit dem lothrechten Durchmesser desselben gemein haben, durch die Wirkung der Schwere in der nämlichen Zeit, wie dieser Durchmesser, zurückgelegt werden.

Ein nach einer geraden Linie geworfener Körper entfernt sich von dieser ohne Aufhören, und beschreibt eine gegen den Horizont zu hohle Curve, von welcher diese gerade Linie die erste Tangente ist. Seine Bewegung, durch Lothe auf diese gerade Linie bezogen, ist gleichförmig; aber sie wird nach diesen Lothen, den eben erläuterten Gesetzen gemäfs, beschleunigt. Fällt man daher, von jedem Punkte der Curve, Lothe auf die erste Tangente, so werden sie den Quadraten der zugehörigen Theile dieser Tangente proportionirt seyn; und diese Eigenschaft ist ein Merkmal der Parabel.

Wenn die Kraft des Wurfs nach der lothrechten Linie selbst gerichtet ist, so verwandelt sich die Parabel in diese; die Formeln für die parabolische Bewegung geben also

diejenigen für die beschleunigte oder verminderte lothrechte Bewegung.

Dieſs sind die von Galilei entdeckten Gesetze des Falls schwerer Körper. Heutzutage scheint es uns, als ob es leicht gewesen wäre; dazu zu gelangen. Da sie aber den Nachforschungen der Philosophen, ungeachtet der Erscheinungen, die sie ohne Aufhören wieder hervorbringen, entgangen waren, so war ein seltener Geist dazu erforderlich, sie aus diesen Erscheinungen herauszufinden.

Wir haben im ersten Buche gesehen, daſs ein schwerer Punkt an dem einen Ende einer nicht schweren geraden Linie, deren anderes Ende bevestiget ist, aufgehängt, das einfache Pendel abgiebt. Wird dieses Pendel von der lothrechten Linie entfernt, so strebt es, vermöge seiner Schwere, wieder in dieselbige zurückzukommen, und dieſs Bestreben ist jener Entfernung, wenn sie nicht beträchtlich ist, sehr nahe proportionirt. Wir wollen uns nun zwey Pendeln von gleicher Länge gedenken, die im nämlichen Augenblicke und mit sehr kleinen Geschwindigkeiten, von der lothrechten Richtung ausgehen. Im ersten Augenblicke werden sie Bogen beschreiben, die diesen Geschwindigkeiten proportio-

nirt sind. Im Anfange eines zweyten, dem ersten gleichen, Augenblicks werden diese Geschwindigkeiten im Verhältnisse der beschriebenen Bogen und der anfänglichen Geschwindigkeiten vermindert werden; die in diesem Augenblicke beschriebenen Bogen werden daher noch diesen Geschwindigkeiten proportionirt seyn. Eben so wird es sich mit den im dritten, im vierten und den weiter folgenden Augenblicken beschriebenen Bogen verhalten. Folglich werden in jedem Augenblicke die Geschwindigkeiten und die Bogen von der Verticallinie an genommen, den anfänglichen Geschwindigkeiten proportionirt seyn, und daher die Pendeln im nämlichen Augenblicke in Ruhe kommen. Hierauf werden sie mit einer, nach den nämlichen Gesetzen, nach welchen ihre Geschwindigkeit vermindert worden war, beschleunigten Bewegung wieder zu der Verticallinie zurückgehen, und werden im nämlichen Augenblicke und mit ihrer anfänglichen Geschwindigkeit bey derselben eintreffen. Nun werden sie auf der andern Seite der Verticallinie auf die nämliche Art eine Schwingung machen, und diese Schwingungen würden sie ins Unendliche fortsetzen, wenn sie da-

bey keinen Widerstand fänden. Es ist offenbar, dafs die Gröfse ihrer Schwingungen ihrer anfänglichen Geschwindigkeit proportionirt ist, aber die Dauer dieser Schwingungen ist immer die nämliche, und folglich von ihrer Gröfse unabhängig. Da die Kraft, welche das Pendel beschleuniget, nicht genau in dem Verhältnisse des von der Verticallinie an beschriebenen Bogens steht, so findet dieser Isochronismus in Ansehung der kleinen Schwingungen eines schweren Körpers, der sich in einem Kreise bewegt, nur beynahe Statt. Er ist völlig genau bey der Curve, auf welcher der der Tangente parallele Theil der zerlegten Schwere dem von dem niedrigsten Punkte an gerechneten Bogen proportionirt ist, welches unmittelbar ihre Differentialgleichung giebt. Huygens, dem man die Anwendung des Pendels auf die Uhren zu danken hat, liefs sich angelegen seyn, diese Curve, und die Art, ein Pendel durch sie zu führen, kennen zu lernen. Er fand, dafs es eine lothrecht stehende Cykloide ist, so dafs ihr Scheitelpunkt die niedrigste Stelle einnimmt, und dafs man, um einen an dem Ende eines undehnbaren Fadens aufgehängten Körper durch sie zu führen, nur dessen

anderes Ende in dem gemeinschaftlichen Anfangspunkte zweyer Cykloiden zu bevestigen braucht, die derjenigen, welche man von ihm beschrieben haben will, gleich, und nach entgegengesetzter Richtung lothrecht gestellt sind, so daſs der Faden, bey seinen Schwingungen, sich wechselsweise um einen Theil von jeder dieser Curven wickelt. So sinnreich auch diese Untersuchungen sind, so hat doch die Erfahrung dem kreisförmigen Pendel, wegen seiner viel gröſseren Einfachheit, und in der Anwendung zureichenden Genauigkeit, den Vorzug gegeben. Aber die Theorie der Evoluten, wozu sie die Veranlassung gegeben haben, ist durch ihre Anwendungen auf das Weltsystem sehr wichtig geworden.

Die Zeit der sehr kleinen Schwingungen eines kreisförmigen Pendels verhält sich zu der Zeit, die ein schwerer Körper brauchen würde von einer, der doppelten Länge des Pendels gleichen Höhe zu fallen, wie die halbe Peripherie zum Durchmesser. Folglich verhält sich die Zeit des Falls eines Körpers längst einem kleinen, durch einen lothrechten Durchmesser begränzten Kreisbogen, zur Zeit des Falls längst diesem Durchmesser,

ser, oder, was eben so viel ist, durch die Chorde des Bogens, wie der vierte Theil der Peripherie zum Durchmesser; die gerade Linie zwischen zwey gegebenen Punkten ist daher nicht die Linie des schnellsten Falls vom einen zum andern. Die Untersuchung dieser Linie hat die Forschbegierde der Geometer gereitzt, und sie haben gefunden, dafs es eine Cykloide ist, die zum Anfangspunkte den höchsten Punkt hat.

Die Länge des einfachen Pendels, das Secunden schwingt, verhält sich zur doppelten Höhe, von welcher die Körper, vermöge der Schwere, in der ersten Secunde fallen, wie das Quadrat des Durchmessers zum Quadrate der Peripherie. Wir haben in dem ersten Buche gesehen, dafs sehr genaue Versuche die Länge des Secundenpendels zu Paris 2,28386 Fufs grofs gegeben haben. Daraus folgt, dafs die Schwere daselbst die Körper in der ersten Secunde durch 11,2704 Fufs treibt. Dieser Uebergang der Schwingungsbewegung, deren Dauer man mit grofser Genauigkeit beobachten kann, zur geradlinigten Bewegung der schweren Körper ist eine sinnreiche Bemerkung, die man auch Huygens zu danken hat.

Die Zeiten der Schwingungen von I
deln, deren Längen unterschieden sind,
aber von der nämlichen Schwere getrie
werden, verhalten sich bey sehr klei
Schwingungen, wie die Quadratwurzeln
diesen Längen. Wenn die Pendeln einer
Länge haben, aber von verschiedenen Sch
ren getrieben werden, so verhalten sich
Schwingungszeiten umgekehrt, wie die Q
dratwurzeln aus den Schweren.

Vermittelst dieser Lehrsätze hat n
die Veränderung der Schwere an der E
fläche und auf dem Gipfel der Berge
stimmt. Eben so haben die Beobachtung
des Pendels gelehrt, dafs die Schwere we
von der Oberfläche, noch von der Gest
der Körper abhängt, sondern dafs sie
innersten Theile durchdringt, und ihnen
gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeit
einzudrücken strebt. Um sich davon
versichern, liefs Newton eine grofse Za
Körper von einerley Gewichte, aber von ve
schiedener Gestalt und Materie schwinge
die er, um einerley Widerstand der Luft z
erhalten, in einerley Gefäfs brachte. So gro
auch die Genauigkeit war, womit er bey di
sen Versuchen zu Werke gieng, so konn

er doch zwischen den Schwingungszeiten dieser Körper keinen merklichen Unterschied finden. Daraus folgt, dafs, ohne den Widerstand, den sie leiden, ihre durch die Wirkung der Schwere erlangte Geschwindigkeit in gleicher Zeit gleich grofs seyn würde.

An der Kreisbewegung haben wir auch noch ein Beyspiel einer stetig wirkenden Kraft.

Da die Bewegung der Materie, wenn sie sich selbst überlassen wird, gleichförmig und geradlinigt ist, so ist klar, dafs ein in einem Kreise sich bewegender Körper ohne Aufhören strebt, sich vom Mittelpunkte nach der Richtung der Tangente zu entfernen. Sein dahin gerichtetes Bestreben nennt man die *Centrifugalkraft*, hingegen die ganze, nach einem Mittelpunkte gerichtete Kraft, wird die *Centripetalkraft* oder *Centralkraft* genannt. Bey der Kreisbewegung ist die Centripetalkraft der Centrifugalkraft gleich und gerade entgegengesetzt; sie ist ohne Aufhören bestrebt, die Körper von der Peripherie nach dem Mittelpunkte zu führen, und in einem sehr kleinen Zeittheile läfst sich ihre Wirkung durch den Quersinus des beschriebenen kleinen Bogens messen.

Vermittelst dieses Resultats kann m die von der Umdrehung der Erde herrü rende Centrifugalkraft mit der Schwere v gleichen.

Am Aequator beschreiben die Körp vermöge dieser Umdrehung, in jeder Z secunde einen Bogen von 40″,1095 der I ripherie des Erdäquators. Da der Halbm ser dieses Aequators sehr nahe 19634778 F gros ist, so ist der Quersinus dieses Boge 0,0389704 Fus.

Die Schwere macht, dafs die Körper a Aequator in einer Secunde durch 11,2358 Fus fallen; folglich verhält sich am Aequ tor die zur Zurückhaltung der Körper a der Erdfläche nöthige Centralkraft, und mithi die von ihrer Umdrehung herrührende Centr fugalkraft, zu der Schwere, wie 1 zu 288,

Die Centrifugalkraft vermindert d Schwere, und die Körper, fallen am Aequ tor nur vermöge des Unterschieds dies beyden Kräfte.

Nennt man daher die ganze Erscheinun wie sie ohne diese Verminderung Statt h ben würde, Schwere (gravité), so ist die Cen trifugalkraft am Aequator sehr nahe $\frac{1}{289}$ d Schwere.

Wäre die Umdrehung der Erde siebzehnmal schneller, so würde der in einer Secunde beschriebene Bogen siebzehnmal, und sein Quersinus 289 mal gröſser seyn. Alsdann wäre die Centrifugalkraft der Schwere gleich und die Körper würden am Aequator aufhören, gegen die Erde schwer zu seyn.

Ueberhaupt ist der Ausdruck einer beständigen beschleunigenden Kraft, welche immer nach einerley Richtung wirkt, dem doppelten Raume, durch welchen sie die Körper führt, durch das Quadrat der Zeit dividirt, gleich. Jede beschleunigende Kraft kann in einem sehr kurzen Zeittheile als beständig, und nach einerley Richtung wirhend angesehen werden. Ferner ist der Raum, durch welchen die Centralkraft bey der Kreisbewegung die Körper führt, und der Quersinus des beschriebenen kleinen Bogens, und dessen Sinus dem Quadrate des Bogens, durch den Durchmesser dividirt, sehr nahe gleich; der Ausdruck dieser Kraft ist daher das Quadrat des beschriebenen Bogens, dividirt durch das Quadrat der Zeit, und durch den Halbmesser des Kreises. Der Bogen, dividirt durch die Zeit, ist die Geschwindigkeit des Körpers; die Centripetal-

kraft und die Centrifugalkraft sind daher dem Quadrate der Geschwindigkeit, durch den Halbmesser dividirt, gleich.

Vergleichen wir dieses Resultat mit der vorhin gefundenen, nach welchem die Schwere dem Quadrate der erlangten Geschwindigkeit dividirt durch das Doppelte des durchlaufenen Raums, gleich ist, so sehen wir, daſs die Centrifugalkraft der Schwere gleich ist, wenn die Geschwindigkeit des bewegten Körpers einerley ist mit der, welche ein schwerer Körper durch den Fall von einer dem halben Radius des beschriebenen Kreisbogens gleichen Höhe erlangen würde.

Die Geschwindigkeiten mehrerer in kreisförmiger Bewegung befindlichen Körper verhalten sich zusammen, wie die Peripherien die sie beschreiben, dividirt durch ihre Umlaufszeiten; die Peripherien aber verhalten sich wie Halbmesser; folglich verhalten sich auch die Quadrate der Geschwindigkeiten wie die Quadrate der Halbmesser, dividirt durch die Quadrate dieser Zeiten; und mithin verhalten sich die Centrifugalkräfte wie die Halbmesser der Peripherien, dividirt durch die Quadrate der Umlaufszeiten. Daraus folgt, daſs unter verschiedenen Erdparal-

elen die von der Umdrehung der Erde her-
ührende Centrifugalkraft den Halbmessern
ieser Parallele proportionirt ist.

Diese schönen von Huygens entdeck-
n Lehrsätze haben Newton auf die all-
emeine Theorie der Bewegung in krummen
inien und auf das Gesetz der allgemeinen
chwere geführt.

Ein Körper, der eine Curve beschreibt,
bestrebt, sich nach der Richtung der Tan-
nte von ihr zu entfernen. Nun kann man
h immer einen Kreis gedenken, der durch
ey angränzende Elemente der Curve geht,
d den man den *Krümmungskreis* (*cercle*
culateur) nennt. In zwey auf einander
genden Augenblicken bewegt sich der Kör-
r in der Peripherie dieses Kreises, seine
ntrifugalkraft ist daher dem Quadrate sei-
r Geschwindigkeit, dividirt durch den
ümmungshalbmesser, gleich; aber die Lage
d Gröfse dieses Kreises ändern sich be-
ndig.

Wenn die Curve, vermöge einer nach
nem vesten Punkte gerichteten Kraft, be-
hrieben wird, so kann man diese Kraft in
wey zerlegen, wovon die eine mit dem
rümmungshalbmesser, die andere mit dem

Elemente der Curve gleiche Richtung h
Die erste hält der Centrifugalkraft das Gleic
gewicht, die andere vermehrt oder vermi
dert die Geschwindigkeit der Körper. Die
Geschwindigkeit ist daher stets veränderlic
aber sie ist immer so beschaffen, dafs *d*
durch den Radius Vector um den Ursprun
der Kraft beschriebenen Flächen den Zeit
proportionirt sind. Umgekehrt, *wenn d*
durch den Radius Vector um einen vest
Punkt beschriebenen Flächen wie die Zeit
wachsen, so ist die Kraft, welche den Körp
treibt, beständig gegen diesen Punkt gericht

Diese Sätze, die der Theorie des We
systems zur Grundlage dienen, lassen si
leicht auf folgende Art beweisen.

Von der beschleunigenden Kraft kan
man annehmen, dafs sie nur im Anfan
eines jeden Zeittheils wirke, während dess
die Bewegung des Körpers gleichförmig is
alsdann beschreibt der Radius Vector e
kleines Dreyeck. Wenn die Kraft im f
genden Augenblicke zu wirken aufhörte,
würde der Radius Vector in diesem neu
Augenblicke ein neues, dem vorigen gleich
Dreyeck beschreiben. Denn weil diese b
den Dreyecke ihre gemeinschaftliche Spi

in dem vesten Punkte, von welchem aus die Kraft wirkt, und ihre Grundlinien in der nämlichen geraden Linie hätten, so würden sie gleich seyn, da sie mit der nämlichen Geschwindigkeit, in Zeittheilen, die, nach der Voraussetung gleich sind, beschrieben wären. Aber im Anfange des neuen Zeittheils vereinigt sich die beschleunigende Kraft mit der Tangentialkraft des Körpers, und führt ihn durch die Diagonale des Parallelogramms, dessen Seiten diese Kräfte vorstellen. Das Dreyeck, welches der Radius Vector vermöge dieser vereinigten Kraft beschreibt, ist demjenigen gleich, das er ohne die Wirkung der beschleunigenden Kraft beschrieben haben würde; denn diese beyden Dreyecke haben zur gemeinschaftlichen Grundlinie den Radius Vector von dem Ende des ersten Zeittheils, und ihre Spitzen liegen in einer Parallele von dieser Grundlinie. Die durch den Radius Vector beschriebene Fläche ist also in zwey auf einander folgenden gleichen Zeittheilen gleich, und mithin wächst der durch diesen Radius beschriebene Sector wie die Zahl dieser Zeittheile, oder wie die Zeit. Es ist klar, dafs dieſs nur in so weit Statt hat, als die be-

schleunigende Kraft gegen einen vesten Punkt gerichtet ist; sonst würden die vorhin betrachteten Dreyecke nicht einerley Höhe und Grundlinie haben; folglich beweifst die Proportionalität der Flächen mit den Zeiten, dafs die beschleunigende Kraft beständig gegen den Anfangspunkt des Radius Vectors gerichtet ist.

Wenn man sich in diesem Falle einen sehr kleinen Sector gedenkt, der in einem sehr kleinen Zeittheile beschrieben worden, und man zieht von dem einen Ende dieses Sectors eine Tangente an die Curve, und verlängert den von dem Anfangspunkte der Kraft an das andere Ende des Sectors gezogenen Radius Vector bis an diese Tangente so wird der zwischen der Curve und der Tangente eingeschlossene Theil dieses Radius offenbar der vermöge der Centralkraft beschriebene Raum seyn. Dividirt man das Doppelte dieses Raums durch das Quadrat der Zeit, so erhält man den Ausdruck der Kraft. Nun ist der Sector der Zeit proportionirt. Die Centralkraft verhält sich also wie der zwischen der Curve und der Tangente eingeschlossene Theil des Radius Vectors, dividirt durch das Quadrat des Sectors

Genau genommen ist zwar die Centralkraft in den verschiedenen Punkten der Curve diesem Quotienten nicht proportionirt; sie ist es aber um so viel näher, je kleiner die Sectoren sind, so dafs sie der Gränze dieser Quotienten völlig genau proportionirt ist. Die Differentialrechnung giebt diese Gränze durch eine Function des Radius Vectors, wenn die Natur der Curve bekannt ist, und alsdann hat man die Function der Entfernung, welcher die Centralkraft proportionirt ist.

Wenn das Gesetz der Kraft gegeben ist, so hat die Untersuchung der Curve, durch welche sie ihn führt, mehr Schwierigkeiten. Wie aber auch immer die Kräfte beschaffen seyn mögen, von welchen ein Körper getrieben wird, so wird man die elementarischen Veränderungen seiner Bewegung auf folgende Art leicht bestimmen können. Wir wollen uns drey unbewegliche und auf einander lothrechte Achsen gedenken, so wird die Lage des Körpers für jeden Augenblick durch drey diesen Achsen parallele Coordinaten bestimmt werden. Zerlegt man nun jede der Kräfte, die auf den Punkt wirken, in drey andere, eben diesen Achsen parallele, so wird das

Produkt des Resultats aus allen, einer von den Coordinaten parallelen, Kräften durch das Element der Zeit, während dessen sie wirkt, die Zunahme der Geschwindigkeit des Körpers in paralleler Richtung mit dieser Coordinate ausdrücken. Nun kann diese Geschwindigkeit, während dieses Elements, als gleichförmig, und dem Elemente der Coordinate, durch das Element der Zeit dividirt, gleich, angesehen werden; die elementarische Veränderung dieses Quotienten ist daher dem vorigen Produkte gleich. Die Betrachtung der zwey andern Coordinaten giebt zwey ähnliche Ausdrücke; und so wird die Bestimmung der Bewegung des Körpers eine Untersuchung der bloſsen Analysis, wobey es auf die Integration dieser Differentialgleichungen ankommt.

Diese Integration ist leicht, wenn die Kraft gegen einen vesten Punkt gerichtet ist, oft aber macht die Natur der Kräfte sie unmöglich. Indessen führt die Betrachtung der Differentialgleichungen auf einige merkwürdige Sätze der Mechanik, dergleichen der folgende ist. *Die elementarische Veränderung des Quadrats der Geschwindigkeit eines der Wirkung von beschleunigenden Kräften aus-*

gesetzten Körpers ist gleich der doppelten Summe des Produkts von jeder Kraft durch den kleinen Raum, um welchen der Körper in einem Augenblicke nach der Richtung dieser Kraft fortrückt. Es ist leicht daraus zu schliefsen, dafs die von einem schweren Körper längst einer krummen Linie oder Fläche erlangte Geschwindigkeit die nämliche ist, als wenn er von der nämlichen Höhe in lothrechter Richtung gefallen wäre.

Mehrere Philosophen, veranlafst durch die zur Bewunderung hinreifsende Ordnung, welche in der Natur herrscht, und die Fruchtbarkeit ihrer Mittel in Hervorbringung der Erscheinungen, sind auf den Gedanken gerathen, sie gelange immer auf den einfachsten Wegen zu ihrem Ziele. Diese Vorstellungsart dehnten sie auf die Mechanik aus, und suchten die Oekonomie, die die Natur bey der Anwendung der Kräfte zum Zwecke gehabt hätte. Nach verschiedenen fruchtlofen Versuchen fanden sie endlich, dafs ein Körper, unter allen krummen Linien, die er von einem Punkte zum andern durchlaufen kann, immer diejenige wählt, bey welcher das Integral des Produkts seiner Masse durch seine Geschwindigkeit und durch das Element der Curve ein

Minimum ist. Da also die Geschwindigke eines Körpers, der sich auf einer krumme Oberfläche bewegt, und durch keine Kra sollicitirt wird, beständig ist, so gelangt durch die kürzeste Linie von einem Punk zum andern. Das vorerwähnte Integral h man die *Wirkung* des Körpers, und den I begriff ähnlicher, auf jeden Körper eines S stems sich beziehender Integrale, die Wirku des Systems genannt. Die Oekonomie d Natur besteht also, nach diesen Philosophe darin, dafs sie diese Wirkung spart, so, da sie die kleinste mögliche ist. Dieſs ist e was *das Gesetz der kleinsten Wirkung au macht.*

Dieser Grundsatz ist in der That nicht anders als ein sonderbares Resultat der u sprünglichen Gesetze der Bewegung, welche wie wir gesehen haben, die natürlichsten un einfachsten sind, die man sich denken kann und daher aus dem Wesen der Materie selb herzufliefsen scheinen. Alle mathematisc möglichen Gesetze würden ähnliche Resultat darbieten. Man mufs ihn daher nicht zu eine Endursache erheben; und er hat so wenig de Bewegungsgesetzen ihre Entstehung gegeben dafs er nicht einmal zu ihrer Entdeckung

was beygetragen hat, ohne welche man noch darüber streiten würde, was man unter der kleinsten Wirkung der Natur zu verstehen habe.

Drittes Kapitel.

Vom Gleichgewichte eines Systems von Körpern.

Der einfachste Fall des Gleichgewichts mehrerer Körper ist der von zwey materiellen Punkten, die einander mit gleichen und gerade entgegensetzten Geschwindigkeiten begegnen. Ihre gegenseitige Undurchdringlichkeit, diese Eigenschaft der Materie, vermöge welcher zwey Körper nicht zu gleicher Zeit den nämlichen Raum einnehmen können, vernichtet offenbar ihre Geschwindigkeiten, und bringt sie in den Stand der Ruhe. Wenn aber zwey Körper von ungleichen Massen mit entgegengesetzten Geschwindigkeiten auf einander stofsen, was ist dann das Verhältnifs der Geschwindigkeiten zu den Massen im Falle des Gleichgewichts? Um diese Aufgabe aufzulösen, wollen wir uns ein System angränzender in einer geraden Linie liegender

und mit einer gemeinschaftlichen Geschwindigkeit nach der Richtung dieser geraden Linie getriebener materieller Punkte gedenken; eben so wollen wir ein zweytes System angränzender, in der nämlichen geraden Linie liegender, und mit einer gemeinschaftlichen aber der vorigen entgegengesetzten, Geschwindigkeit getriebener materieller Punkte gedenken, so, dafs diese beyden Systeme, wenn sie auf einander stofsen, sich das Gleichgewicht halten.

Es ist klar, dafs, wenn das erste System nur aus einem einzigen materiellen Punkte bestünde, jeder Punkt des zweyten Systems in dem stofsenden Punkte einen der Geschwindigkeit dieses Systems gleichen Theil seiner Geschwindigkeit vernichten würde. Die Geschwindigkeit des stofsenden Punkts mufs also im Falle des Gleichgewichts, dem Produkte der Geschwindigkeit des zweyten Systems durch die Zahl seiner Punkte gleich seyn, und man kann für das erste System einen einzigen, mit einer, diesem Producte gleichen Geschwindigkeit getriebenen, Punkt sezzen. Auf ähnliche Art kann man für das zweyte System einen materiellen Punkt sezzen, der mit einer Geschwindigkeit getrieben

wird,

wird, die dem Producte der Geschwindigkeit des ersten Systems durch die Zahl seiner Punkte gleich ist. So erhält man, anstatt zweyer Systeme, zwey Punkte, die sich mit entgegengesetzten Geschwindigkeiten, wovon die eine das Product der Geschwindigkeit des ersten Systems durch die Zahl seiner Punkte, die andere das Product der Geschwindigkeit der Punkte des zweyten Systems durch ihre Anzahl ist, das Gleichgewicht halten werden. Diese Producte müssen also, im Falle des Gleichgewichts, einander gleich seyn.

Die Masse eines Körpers ist die Summe seiner materiellen Punkte. Das Product der Masse in die Geschwindigkeit nennt man die *Gröſse der Bewegung*, und eben das versteht man auch unter der *Kraft eines Körpers*. Zum Gleichgewichte zweyer Körper oder zweyer Systeme von materiellen Punkten, die nach entgegengesetzter Richtung auf einander stossen, wird erfordert, dafs die Gröſsen der Bewegung, oder die entgegengesetzten Kräfte einander gleich, und mithin die Geschwindigkeiten den Massen umgekehrt proportionirt seyn müssen.

Zwey materielle Punkte können offenbar nicht anders auf einander wirken, als nach

der geraden Linie, die sie verbindet; die Wirkung die der eine auf den andern äussert, theilt ihm eine Gröfse der Bewegung mit; nun kann man sich den zweyten Körper, als durch diese Gröfse, und durch eine andere gleiche und gerade entgegengesetzte sollicitirt vorstellen; die Wirkung des ersten Körpers besteht also darin, diese letztere Gröfse der Bewegung zu vernichten; dazu mufs er aber eine gleiche und entgegengesetzte Gröfse der Bewegung anwenden, welche vernichtet werden wird. Man sieht also, dafs überhaupt bey der gegenseitigen Wirkung der Körper auf einander, die Gegenwirkung immer der Wirkung gleich und entgegengesetzt ist. Man sieht ferner, dafs diese Gleichheit keine besondere Kraft in der Materie voraussetzt, sondern daraus folgt, dafs ein Körper durch die Wirkung eines andern keine Bewegung erhalten kann, ohne ihn deren zu berauben, eben so wie ein Gefäfs, auf Kosten eines andern vollen, das ihm mittheilt, angefüllt wird.

Die Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung zeigt sich bey allen Wirkungen der Natur. Das Eisen zieht den Magnet an, wie es von ihm angezogen wird; das nämliche

bemerkt man bey den elektrischen Anziehungen und Abstofsungen, bey der Entwickelung der elastischen und selbst bey der der thierischen Kräfte; denn, was auch immer das bewegende Princip des Menschen und der Thiere seyn mag, so ist das der beständige Erfolg, dafs sie durch die Gegenwirkung der Materie eine Kraft erhalten, die derjenigen, welche sie ihr mittheilen, gleich und entgegengesetzt ist, und dafs sie also, in dieser Beziehung, den nämlichen Gesezzen, wie die leblofsen Wesen, unterworfen sind.

Das umgekehrte Verhältnifs der Geschwindigkeiten mit den Massen, im Falle des Gleichgewichts dient zur Bestimmung des Verhältnisses der Massen bey verschiedenen Körpern. Die der gleichartigen Körper sind ihren Räumen, welche die Geometrie auszumessen lehrt, proportionirt. Aber alle Körper sind nicht gleichartig, und die Unterschiede, welche sowohl in Absicht auf ihre kleinsten Bestandtheile, als auf die Zahl und Gröfse der Zwischenräume oder Poren, welche diese Theilchen von einander trennen, Statt finden, verursachen sehr grofse Verschiedenheiten zwischen ihren im nämlichen Raume ein-

geschlossenen Massen. Die Geometrie reicht alsdann nicht zu, das Verhältniſs dieser Massen zu bestimmen, und es ist unumgänglich nöthig, sich deswegen an die Mechanik zu wenden.

Wenn man sich zwey Kugeln von verschiedenen Materien gedenkt, und man läſst ihre Durchmesser sich so lange ändern, bis sie, wenn man ihnen gleiche und entgegengesetzte Geschwindigkeiten ertheilt, einander das Gleichgewicht halten, so kann man versichert seyn, daſs sie eine gleiche Anzahl materieller Punkte, und mithin gleiche Massen enthalten werden. Man wird also auf solche Art das Verhältniſs der Räume dieser Substanzen, bey gleichen Massen, erhalten, und daraus weiter, mit Hülfe der Geometrie das Verhältniſs der Massen von jeden zwey andern Räumen eben dieser Substanzen herleiten können. Aber dieses Verfahren würde, wegen der zahlreichen Vergleichungen, welche die Bedürfnisse des Handels jeden Augenblick fordern, in der Ausübung sehr beschwerlich seyn. Glücklicherweise bietet uns die Natur in der Schwere der Körper ein sehr einfaches Mittel, ihre Massen zu vergleichen, dar.

Wir haben im vorhergehenden Kapitel gesehen, dafs jeder materielle Punkt, an einerley Orte der Erde, vermöge der Wirkung der Schwere bestrebt ist, sich mit einerley Geschwindigkeit zu bewegen. Die Summe dieser Bestrebungen macht das Gleichgewicht eines Körpers aus; folglich sind die Gewichte den Massen proportionirt. Hieraus folgt, dafs, wenn zwey an den Enden eines über eine Rolle gehenden Fadens aufgehängte Körper einander das Gleichgewicht halten, und die beyden Theile des Fadens auf beyden Seiten der Rolle gleich sind, auch die Massen dieser Körper gleich grofs seyen, weil sie, vermöge der Wirkung der Schwere, bestrebt sind, sich mit gleicher Geschwindigkeit zu bewegen, und eben so auf einander wirken, als ob sie mit gleichen und gerade entgegengesetzten Geschwindigkeiten aneinander stiefsen. Ferner kann man die beyden Körper vermittelst einer Waage, deren Arme und Schaalen vollkommen gleich sind, ins Gleichgewicht bringen, und alsdann von der Gleichheit ihrer Massen versichert seyn. Auf solche Art erhält man das Verhältnifs der Massen verschiedener Körper vermittelst einer genauen und empfindlichen Waage, und einer grofsen Anzahl kleiner,

seyen, welche bey harten Körpern unbiegsam bey elastischen und weichen aber biegsam un dehnbar seyen. Es ist klar, daſs die Körpe bey diesen Voraussetzungen, die nämliche Erscheinungen darbieten würden, die sie u wirklich zeigen.

Die Bedingungen des Gleichgewichts eine Systems von Körpern können immer nac dem Gesetze der Zusammensetzung der Kräf te, das im ersten Kapitel dieses Buchs erklär worden ist, bestimmt werden. Denn man kann die Kraft, wovon ein jeder materieller Punkt getrieben wird, als in dem Punkte ihrer Richtung angebracht ansehen, in welchem die Richtungen der Kräfte zusammentreffen, die sie aufheben, oder die, wenn man sie mit ihr zusammensetzt, eine mittlere Kraft geben, die, im Falle des Gleichgewichts, durch die vesten Punkte des Systems aufgehoben wird. Wir wollen z. B. zwey an den Enden eines unbiegsamen Hebels bevestigte materielle Punkte betrachten, und annehmen diese Punkte werden von Kräften getrieben deren Richtungen in der Ebene des Hebels liegen. Gedenken wir uns diese Kräfte in dem Punkte vereinigt, wo ihre Richtungen zusammentreffen, so muſs, um ein Gleichge

wicht zu erhalten, die aus ihrer Zusammensetzung entstehende mittlere Kraft, durch den Unterstützungspunkt gehen, welcher sie allein aufheben kann, und, nach dem Gesetze der Zusammensetzung der Kräfte, müssen alsdann die zwey zusammensetzenden Kräfte sich umgekehrt verhalten, wie die von dem Unterstützungspunkte auf ihre Richtungen gefällten Lothe.

Gedenkt man sich in den Endpunkten eines geradlinigten unbiegsamen Hebels, dessen Masse in Vergleichung mit der der Körper für unendlich klein angesehen werden kann, zwey schwere Körper bevestigt, so kann man sich die parallelen Richtungen der Schwere, als in einer unendlichen Entfernung vereinigt, vorstellen; in diesem Falle müssen die Kräfte, von welchen jeder schwere Körper getrieben wird, oder, was eben so viel ist, ihre Gewichte, für den Fall des Gleichgewichts, sich umgekehrt verhalten, wie die von dem Unterstützungspunkte auf die Richtungen dieser Kräfte gefällten Lothe; diese Lothe aber sind den Hebelarmen proportionirt; folglich sind, beym Gleichgewichte, die Gewichte der Körper, den Hebel-

armen, an welchen sie bevestigt sind, umgekehrt proportionirt.

Ein sehr kleines Gewicht kann daher vermittelst des Hebels und der Maschinen, die sich darauf gründen, einem sehr beträchtlichen Gewichte die Waage halten, und man kann auf solche Art eine ungeheure Last mit einer kleinen Kraft heben; aber um diese zu bewerkstelligen, muſs der Hebelarm, an welchem die Kraft angebracht wird, in Vergleichung mit dem, welcher die Last hält, sehr lang seyn, und die Kraft einen groſsen Raum durchlaufen, um die Last auf eine kleine Höhe zu heben. Alsdann verliert man an Zeit, was man an Kraft gewinnt, und dieſs hat durchgängig bey den Maschinen Statt.

Man kann aber oft nach Willkühr über die Zeit verfügen, während man nur eine eingeschränkte Kraft anwenden kann. Unter andern Umständen, wo man sich eine groſse Geschwindigkeit verschaffen muſs, kann man vermittelst des Hebels dazu gelangen, wenn man die Kraft an den kürzern Arm anbringt. Eben in dieser Möglichkeit, die Masse, oder die Geschwindigkeit der zu bewegenden Körper, je nachdem es die Umstände erfordern

zu vermehren, besteht der Hauptvortheil der Maschinen.

Durch eine in sehr vielen Fällen angestellte aufmerksame Untersuchung der Bedingungen des Gleichgewichts eines Systems von Körpern, und der Verhältnisse jeder Kraft zu der Geschwindigkeit, die der Körper, an welchen sie angebracht ist, annimmt, wenn das Gleichgewicht des Systems aufgehoben zu werden anfängt, ist man auf folgenden Grundsatz gekommen, welcher die Bedingungen des Gleichgewichts eines Systems durch Kräfte getriebener materieller Punkte in der höchsten Allgemeinheit enthält.

Wenn man die Lage des Systems unendlich wenig ändert, auf eine Art, die mit den Bedingungen der Verbindung seiner Theile bestehen kann, so wird jeder materielle Punkt in der Richtung der ihn sollicitirenden Kraft, um eine Gröfse fortrücken, die dem Theile dieser Richtung gleich ist, welcher zwischen der ersten Lage des Punkts, und dem von der zweyten Lage desselben auf diese Richtung gefällten Lothe liegt.

Dieſs vorausgesetzt, ist, *im Falle des Gleichgewichts, die Summe der Producte einer jeden Kraft durch die Gröſse, um welche der*

Punkt, an dem sie angebracht ist, in ihre Richtung fortrückt, gleich Null. Darin besteht der Grundsatz der virtualen Geschwindigkeiten, den man Johann Bernoulli zu danken hat. Um ihn aber anzuwenden, muß man bemerken, daſs die eben erwähnten Producte, in Ansehung der Punkte, welche bey der Veränderung der Lage des Systems in einer der Richtung ihrer Kräfte entgegengesetzten Richtung fortrücken, negativ zu nehmen sind; auch muſs man sich erinnern, daſs die Kraft das Product der Masse eines materiellen Punkts in die Geschwindigkeit ist, welche sie ihm ertheilen würde, wenn er frey wäre.

Gedenkt man sich die Lage eines jeden Punkts des Systems durch drey rechtwinklichte Coordinaten bestimmt, so wird die Summe der Producte einer jeden Kraft durch die Gröſse, um welche der Punkt, den sie sollicitirt, in ihrer Richtung fortrückt, wenn man das System sich durch einen unendlich kleinen Raum bewegen läſst, durch eine lineare Function der Veränderungen aller Coordinaten dieser Punkte ausgedrückt werden. Diese Veränderungen stehen zu einander in Verhältnissen, die aus der Verbindung der

Theile des Systems hervorgehen. Bringt man daher in der vorigen Summe, die für den Fall des Gleichgewichts gleich Null werden muſs, vermittelst der Bedingungen dieser Verbindung die willkührlichen Veränderungen auf die kleinste mögliche Zahl, so wird man, um nach jeder Richtung ein Gleichgewicht zu erhalten, den Coefficienten von jeder der übrig bleibenden Veränderungen besonders gleich Null setzen müssen; dadurch wird man eben so viele Gleichungen erhalten, als dieser willkührlichen Veränderungen seyn werden. Diese Gleichungen, mit denjenigen, welche die Verbindung der Theile des Systems giebt, zusammengenommen, enthalten alle Bedingungen seines Gleichgewichts.

Wir wollen z. B. ein System von schweren Punkten, die auf eine unveränderliche Art mit einander verbunden sind, betrachten, und uns solches als an einem unbeweglichen Punkte bevestigt vorstellen, um welchen es sich nach jeder Richtung ungehindert drehen könne. Wir wollen uns ferner drey durch den vesten Punkt gehende und auf einander lothrechte Achsen vorstellen, und sezzen, die Lage eines jeden Punkts des Systems

sey durch drey diesen Achsen parallele C
dinaten bestimmt, und die Wirkung s
Schwere nach den Richtungen dieser Co
naten zerlegt. Wenn man nun das Sy
um die erste Achse sich unendlich weni
wegen läfst, so ist klar, dafs die Gröfse
welche jeder Punkt in der Richtung de
dieser Achse parallelen Kraft fortrückt, g
Null ist. Die Gröfse, um welche er in
Richtung der der zweyten Achse paral
Kraft fortrückt, ist gleich dem Product
Winkelbewegung der Rotation des Sy
durch die der dritten Achse parallele C
dinate; und die Gröfse, um welche er i
Richtung der der dritten Achse paral
Kraft fortrückt, ist gleich dem Product
Winkelbewegung von der Umdrehung
Systems durch die der zweyten Achse p
lele Coordinate. Folglich wird, nach
obigen Grundsatze, das System um die
Achse im Gleichgewichte seyn, wenn
Summe der Producte der Masse eines
Punkts durch seine der zweyten Achse p
lele Kraft, und durch die der dritten
parallele Coordinate der Summe der Pro
der Masse eines jeden Punkts durch sein
dritten Achse parallele Kraft und durch

der zweyten Achse parallele Coordinate gleich ist.

Um das System in allen seinen Lagen um die erste Achse ins Gleichgewicht zu bringen, wird erfordert, dafs die vorige Gleichheit Statt habe, wie auch immer die der zweyten und dritten Achse parallelen Kräfte beschaffen seyn mögen; weil sie von der Richtung der Schwere, in Beziehung auf diese Achsen unabhängig seyn mufs.

Man mufs daher alsdann jede der beyden vorigen Summen besonders gleich Null sezen; und da die partialen Wirkungen des einer Achse parallelen Theils der zerlegten Schwere für alle Punkte des Systems die nämlichen sind, so ist die Summe der Produkte von jedem dieser Punkte durch seine der zweyten oder dritten Achse parallele Coordinate gleich Null. Wenn die nämliche Gleichheit in Ansehung der der ersten Achse parallelen Coordinaten Statt hat, so ist es leicht, einzusehen, dafs sie in Ansehung einer jeden andern durch den vesten Punkt gehenden Achse bestehen werde. Daraus folgt, dafs, was für eine Lage um diesen Punkt man auch dem Systeme geben mag, es sich um keine Achse werde drehen können; es wird also,

vermöge der Wirkung der Schwere, im Gleichgewichte bleiben. Den merkwürdigen Punkt der diese Eigenschaft hat, nennt man den *Schwerpunkt* des Systems; er ist derjenige, durch welchen, in allen Lagen des Systems das Resultat aller Bestrebungen der Schwere beständig geht.

Um ihn zu bestimmen, wollen wir seine Lage, und die der Punkte des Systems auf drey unbewegliche auf einander lothrechte Achsen beziehen. Eine jede der Coordinaten dieses Mittelpunkts, multiplicirt durch die ganze Masse des Systems, wird der Summe der Produkte von der Masse eines jeden Punkts durch die ihm zugehörige Coordinate gleich seyn. So ist die Bestimmung des Schwerpunkts, dessen Begriff die Schwere erzeugt hat, von ihr unabhängig. Die Betrachtung dieses Punkts auf ein System von schweren oder nicht schweren, freyen, oder auf was immer für eine Art mit einander verbundenen Körpern angewandt, ist in der Mechanik sehr nützlich.

Viertes Kapitel.

Vom Gleichgewichte flüssiger Körper.

Wir haben im ersten Buche gesehen, daſs die elastischen Flüssigkeiten, wie die Luft, diesen Zustand durch die Wärme, und daſs die nicht zusammendrückbaren Flüssigkeiten, wie das Wasser, ihren Zustand durch den Druck und die Wärme erhalten. Aber um die Gesetze ihres Gleichgewichts zu bestimmen, brauchen wir nur sie als durch eine unendliche Zahl unter einander vollkommen beweglicher Theilchen gebildet anzusehen, so daſs sie dem kleinsten Drucke, den sie von einer Seite mehr, als von einer andern, leiden, nachgeben.

Aus diesem unterscheidenden Merkmale der flüssigen Körper folgt es, daſs die Kraft, die sich in jedem Theilchen der freyen Oberfläche eines im Gleichgewichte stehenden flüssigen Körpers äussert, auf dieser Oberfläche lothrecht steht. Die Schwere ist folglich auf der Oberfläche des stehenden Wassers lothrecht, und mithin die letztere waagrecht.

Vermöge der Beweglichkeit seiner Theile kann ein flüssiger Körper einen Druck ausü-

ben, der viel gröſser ist, als sein Gewicht. S drückt z. B. eine dünne Wassersäule, die sic in eine breite waagrechte Fläche endigt, di Grundfläche, auf welcher sie steht, eben so stark, als eine cylindrische Wassersäule von der nämlichen Grundfläche und Höhe. Um die Wahrheit dieses paradoxen Satzes anschaulich zu machen, wollen wir uns ein vestes cylindrisches Gefäſs mit einem beweglichen horizontalen Boden gedenken, und setzen, dieses Gefäſs sey mit Wasser gefüllt, und sein Boden werde durch eine dem Drucke, den er leidet, gleiche und entgegengesetzte Kraft im Gleichgewichte erhalten, so ist klar, daſs das Gleichgewicht immerfort bestehen würde, wenn ein Theil des Wassers in den vesten Zustand übergienge, und sich an den Seitenwänden des Gefäſses ansetzte. Denn das Gleichgewicht eines Systems von Körpern wird überhaupt nicht gestört, wenn man setzt, daſs in diesem Zustande mehrere von ihnen sich mit einander vereinigen, oder an veste Punkte anschlieſsen. Man kann also auf solche Art eine unendliche Menge Gefäſse von verschiedenen Gestalten bilden, die alle einerley Boden und einerley Höhe mit dem cylindrischen Gefäſse haben werden, und in

welchen das Wasser den nämlichen Druck auf den beweglichen Boden äufsern wird.

Der Druck, den ein flüssiger Körper auf eine Fläche ausübt, ist auf jedem ihrer Elemente lothrecht, sonst würde das ihr zunächst liegende flüssige Theilchen wegen der Zerlegung des Drucks, den es leidet, ausglitschen. Wenn ein flüssiger Körper nur durch sein Gewicht wirkt, so ist sein ganzer Druck dem Gewichte eines Prisma von dieser Flüssigkeit gleich, dessen Grundfläche der gedrückten Oberfläche gleich, und dessen Höhe die Entfernung des Schwerpunkts dieser Fläche von der waagrechten Ebene des flüssigen Körpers ist.

Ein Körper, der in eine Flüssigkeit getaucht wird, verliert darin einen Theil seines Gewichts, der dem Gewichte des Volumens der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit gleich ist. Denn vor dem Eintauchen würde die umgebende Flüssigkeit dem Gewichte von diesem Volumen des flüssigen Körpers die Waage halten, von welchem man, ohne das Gleichgewicht zu stören, annehmen könnte, dafs es eine veste Masse bilde; das Resultat aller Wirkungen der umgebenden Flüssigkeit auf diese Masse mufs daher ihrem Gewichte die Waage halten, und durch ihren

Schwerpunkt gehen. Nun ist es klar, diese Wirkungen auf den Körper, der ih Platz einnimmt, die nämlichen sind; Wirkung der Flüssigkeit hebt also einen T von dem Gewichte dieses Körpers auf, dem Gewichte des Volumens der aus der St getriebenen Flüssigkeit gleich ist. Die K per wiegen also in der Luft mehr, als luftleeren Raume; der bey dem gröfs Theile derselben kaum merkliche Untersch darf bey feineren Versuchen nicht verna läfsiget werden.

Man kann vermittelst einer Waage, am Ende des einen ihrer Arme einen Kör trägt, den man in eine Flüssigkeit taucht, Gewichtsverlust, welchen der Körper diesem Eintauchen leidet, genau messen, seine specifische Schwere, oder seine Di tigkeit im Verhältnisse zu der von die Flüssigkeit bestimmen. Diese Schwere das Verhältnifs von dem Gewichte des K pers im leeren Raume zu dem Verluste diesem Gewichte, wenn der Körper ganz die Flüssigkeit eingetaucht ist. Auf sol Art hat man die specifischen Schweren Körper in Vergleichung mit dem destillir Wasser bestimmt.

Soll ein Körper, der leichter ist, als ein flüssiger, auf dessen Oberfläche im Gleichgewichte seyn, so muſs sein Gewicht dem des Volumens der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit gleich seyn. Ferner müssen die Schwerpunkte dieses Theils der Flüssigkeit und des Körpers in einerley lothrechten Linie liegen, denn das Resultat der Wirkungen der Schwere auf alle Theilchen des Körpers geht durch seinen Schwerpunkt, und das Resultat aller Wirkungen der Flüssigkeit auf diesen Körper geht durch den Schwerpunkt, der aus der Stelle getriebenen Flüssigkeit; da diese Resultate, um sich aufzuheben, in der nämlichen Linie liegen müssen, so liegen die Schwerpunkte in einerley lothrechten Linie.

Es giebt zwey sehr verschiedene Zustände des Gleichgewichts; bey dem einen machen alle Körper des Systems, wenn man das Gleichgewicht ein wenig stört, nur kleine Schwingungen um ihre anfängliche Lage, und alsdann ist das Gleichgewicht *vest* oder *beständig*. Diese Beständigkeit ist absolut, wenn sie Statt hat, wie auch immer die Schwingungen des Systems beschaffen seyn mögen; sie ist aber blos relativ, wenn sie nur in Beziehung auf eine gewisse Art der

Schwingungen Statt findet. Im andern Z
stande des Gleichgewichts entfernen sich d
Körper immer mehr und mehr von ihrer a
fänglichen Lage, wenn man macht, daſs s
einmal davon abweichen. Man wird ein
richtige Vorstellung von diesen beyden Zu
ständen haben, wenn man eine auf eine
waagrechten Ebene lothrecht stehende Ellips
betrachtet. Wenn die Ellipse auf ihrer klei
nen Achse im Gleichgewichte ist, so ist kla
daſs wenn man sie ein wenig von dieser La
ge entfernt, sie wieder in dieselbige zurück
zukommen strebt, durch Schwingungen, wel
che die Reibung und der Widerstand der Lu
bald aufheben werden; ist aber die Ellips
auf ihrer groſsen Achse im Gleichgewichte
so strebt sie, wenn man sie einmal aus die
ser Lage bringt, sich immer weiter davo
zu entfernen, und endigt damit, daſs si
wieder auf ihre kleine Achse zurückkomm
Die Beständigkeit des Gleichgewichts häng
also von der Natur der kleinen Schwingun
gen ab, welche das auf irgend eine Art g
störte System um diesen Zustand macht. O
hat diese Untersuchung viele Schwierigke
ten; aber in mehreren Fällen, und besonde
in dem der schwimmenden Körper, brauch

man, um über die Beständigkeit des Gleichgewichts zu urtheilen, nur zu wissen, ob die das System sollicitirende Kraft, solches, wenn es ein wenig aus diesem Zustande verrückt worden, wieder in denselbigen zurückzuführen bestrebt ist. In Ansehung der auf dem Wasser oder auf jeder andern Flüssigkeit schwimmenden Körper gelangt man dazu durch folgende Regel.

Wenn man sich durch den Schwerpunkt des in der Oberfläche des Wassers liegenden Durchschnitts eines schwimmenden Körpers eine waagrechte Achse gedenkt, so dafs die Summe der Produkte von jedem Elemente des Durchschnitts durch das Quadrat seiner Entfernung von dieser Achse kleiner ist, als in Ansehung einer jeden andern, durch den nämlichen Mittelpunkt gezogenen, waagrechten Achse, so ist das Gleichgewicht nach jeder Richtung beständig, wenn diese Summe gröfser ist, als das Produkt des Volumens des aus der Stelle getriebenen flüssigen Körpers durch die Höhe des Schwerpunkts des Körpers über dem Schwerpunkte des Volumens.

Diese Regel ist besonders nützlich bey der Construction der Schiffe, wobey es darauf ankommt, ihnen einen hinreichend vesten

Stand zu geben, um der Gewalt der Stürme, welche sie unterzutauchen streben, zu widerstehen. Bey einem Schiffe ist die von dem Hintertheile nach dem Vordertheile gezogene Achse diejenige, in Ansehung deren die vorerwähnte Summe ein Minimum ist; es ist daher leicht, seinen vesten Stand durch die vorhergehende Regel kennen zu lernen und zu messen.

Zwey in einem Gefäfse eingeschlossene flüssige Körper setzen sich so über einander, dafs der schwerere den unteren Theil des Gefäfses einnimmt, und die Fläche, welche beyde trennt, waagrecht ist.

Wenn zwey Flüssigkeiten vermittelst einer gekrümmten Röhre in Gemeinschaft stehen, so ist die Oberfläche, welche sie trennt, im Zustande des Gleichgewichts waagrecht, und ihre Höhen über dieser Oberfläche verhalten sich umgekehrt wie ihre specifischen Dichtigkeiten. Nimmt man also für die ganze Atmosphäre die Dichtigkeit der Luft bey der Temperatur des schmelzenden Eifses und bey dem Drucke einer Quecksilbersäule von $2\frac{1}{3}$ Fufs Höhe an, so wird ihre Höhe 23690 Fufs betragen. Da aber die Dichtigkeit der atmosphärischen Schichten in eben

dem Maafse abnimmt, als man sich über der Oberfläche der Erde erhebt, so ist die Höhe der Atmosphäre viel gröfser.

Um die allgemeinen Gesetze des Gleichgewichts einer durch was immer für Kräfte getriebenen flüssigen Masse zu erhalten, wollen wir bemerken, dafs jeder Punkt im Innern dieser Masse einen Druck leidet, welcher bey der Atmosphäre durch die Barometerhöhe gemessen wird, und den man für jede andere Flüssigkeit auf eine ähnliche Art bestimmen kann. Betrachtet man jedes Theilchen als ein unendlich kleines rechtwinklichtes Parallelepipedon, so wird der Druck der umgebenden Flüssigkeit auf die Seitenflächen dieses Parallelepipedons lothrecht seyn, welches bestrebt seyn wird, sich, vermöge des Unterschieds der Pressungen, welche die Flüssigkeit auf zwey entgegengesetzte Flächen ausübt, in einer auf jede Fläche lothrechten Richtung zu bewegen. Aus diesen Unterschieden der Pressungen gehen drey auf einander lothrechte Kräfte hervor, die man mit den übrigen Kräften, welche das flüssige Theilchen sollicitiren, zusammen verbinden mufs. Da also dieses Theilchen, vermöge aller dieser Kräfte, im Gleichgewichte seyn

muſs, so wird der Grundsatz der virtuale Geschwindigkeiten, was für eine Lage es immer in der ganzen Masse haben mag, die allgemeinen Gleichungen für sein Gleichgewicht geben. Die Bedingungen der Integrabilität dieser Differentialgleichungen werden die Verhältnisse bekannt machen, die zwischen den Kräften, von welchen die Flüssigkeit getrieben wird, Statt finden müssen, wenn ein Gleichgewicht möglich seyn soll; ihre Integration aber wird den Druck geben, den jedes flüssige Theilchen erfährt, und dieser Druck wird, wenn der flüssige Körper elastisch ist, und sich zusammendrücken läſst, den Grad seiner Elasticität und seine Dichtigkeit bestimmen.

Fünftes Kapitel.

Von der Bewegung eines Systems von Körpern.

Wir wollen zuerst die Wirkung zweyer materiellen Punkte von verschiedenen Massen betrachten, die sich auf einerley gerade Linie so bewegen, daſs sie einander begegnen. Man kann unmittelbar vor dem Stoſse

re Geschwindigkeiten als so zerlegt anse-
en, dafs sie eine gemeinschaftliche und zwey
ntgegengesetzte Geschwindigkeiten hätten,
nd blos vermöge der letzteren einander die
Vaage hielten. Die den Punkten gemein-
schaftliche Geschwindigkeit wird durch ihre
gegenseitige Wirkung nicht gestört, nur sie
allein mufs also nach dem Stofse noch beste-
hen. Um sie zu bestimmen, wollen wir be-
merken, dafs die Gröfse der Bewegung zwey-
er Punkte, vermöge dieser gemeinschaftlichen
Geschwindigkeit, sammt der Summe der den
aufgehobenen Geschwindigkeiten zugehörigen
Gröfsen der Bewegung, die Summe der Grös-
sen der Bewegung vor dem Stofse darstellt,
wenn nur die den entgegengesetzten Ge-
schwindigkeiten zugehörigen Gröfsen der Be-
wegung in entgegengesetzter Bedeutung ge-
nommen werden. Aber nach der Bedingung
des Gleichgewichts ist die Summe der den
aufgehobenen Geschwindigkeiten zugehörigen
Gröfsen der Bewegung gleich Null; folglich
ist die der gemeinschaftlichen Geschwindig-
keit zugehörige Gröfse der Bewegung derje-
nigen gleich, die anfänglich in den beyden
Punkten vorhanden war, und mithin ist diese
Geschwindigkeit der Summe der Gröfsen der

Bewegung, dividirt durch die Summe Massen, gleich.

Wenn die Punkte vollkommen elasti sind, so muſs man, um ihre Geschwindigk nach dem Stoſse zu haben, die Geschwin keit, die sie, wenn sie unelastisch wären, langen oder verlieren würden, zu der gem schaftlichen Geschwindigkeit, die sie un dieser Vosaussetzung annehmen würden, h zusetzen, oder davon wegnehmen; denn vollkommene Elasticität verdoppelt diese W kungen durch Wiederherstellung der Lage elastischen Theile, welche der Stoſs zusa mendrückt. Man wird also die Geschwind keit eines jeden Punkts nach dem Stoſse halten, wenn man seine Geschwindigkeit dem Stoſse von dem Doppelten dieser gem schaftlichen Geschwindigkeit abzieht.

Hieraus kann man leicht schlieſsen die Summe der Producte einer jeden durch das Quadrat ihrer Geschwindigk und nach dem Stoſse der beyden Pun nämliche ist; und dieſs hat überhau dem Stoſse vollkommen elastischer Statt, wie viel ihrer seyen, und wie mer auf einander wirken mögen.

Der Stofs zweyer materiellen Punkte ist zwar blofs eingebildet, aber der Stofs jeder zwey Körper läfst sich leicht darauf zurückführen, wenn man bemerkt, dafs, wenn diese Körper nach einer durch ihre Schwerpunkte gehenden, und auf ihrer Berührungsfläche lothrechten Linie sich stofsen, sie so auf einander wirken, als wenn ihre Massen in diesen Punkten vereinigt wären; die Bewegung theilt sich daher ihnen alsdann eben so mit, wie zwey materiellen Punkten, deren Massen diesen Körpern stückweise gleich wären.

Dieſs sind die Gesetze der Mittheilung der Bewegung, welche die Erfahrung bestätigt, und welche aus den beyden im zweyten Kapitel dieses Buchs erklärten Grundgesetzen der Bewegung mathematisch herfliefsen. Mehrere Philosophen haben versucht, sie durch die Betrachtung der Endursachen zu bestimmen. Descartes, der sich überredete, dafs die Gröfse der Bewegung im Weltall immer die nämliche bleiben müsse, zog aus dieser falschen Voraussetzung falsche Gesetze für die Mittheilung der Bewegung, die ein Beyspiel von den Irrthümern sind, denen man sich aussetzt, wenn man die Gesetze der Natur aus

den Absichten, die man ihr leihet, zu erra-
then sucht.

Wenn ein Körper nach einer durch seinen Schwerpunkt gehenden Richtung gestoſsen wird, so bewegen sich alle seine Theile mit einer gleichen Geschwindigkeit; wenn aber diese Richtung den Schwerpunkt seitwärts vorbeygeht, so haben die verschiedenen Theile des Körpers ungleiche Geschwindigkeiten, und aus dieser Ungleichheit der Geschwindigkeiten erfolgt eine Umdrehungsbewegung des Körpers um seinen Schwerpunkt in der nämlichen Zeit, in welcher dieser Punkt mit der Geschwindigkeit fortrückt, die er würde angenommen haben, wenn die Richtung des Stoſses durch diesen Punkt gegangen wäre. Dieſs ist der Fall bey der Erde und den Planeten. Um also die doppelte Bewegung der Umdrehung und des Fortrückens der Erde zu erklären, braucht man nur anzunehmen, daſs sie anfänglich einen Stoſs erhalten habe, dessen Richtung ihren Schwerpunkt nahe vorbeygieng, in einer Entfernung, die, bey der Voraussetzung der Gleichartigkeit dieses Planeten, ungefähr der hundert und sechzigste Theil ihres Halbmessers ist. Die Wahrscheinlichkeit, daſs die Planeten, Trabanten und

ɔmeten ursprünglich nach einer genau durch re Schwerpunkte gehenden Richtung gewor- ɔ worden seyen, ist unendlich klein; folg- ɔh müssen sich alle diese Körper um sich lbst drehen.

Aus einem ähnlichen Grunde muſs die ɔnne, die sich um sich selbst dreht, einen ɔoſs erhalten haben, der, da er nicht durch ɔren Schwerpunkt gieng, sie mit dem Pla- etensysteme im Weltraume fortführt, wo- ɔrn nicht ein entgegengesetzter Stoſs diese ewegung aufgehoben hat, was nicht wahr- ɔheinlich ist.

Ein Stoſs, der einer gleichartigen Kugel ach einer Richtung, die nicht durch ihren ittelpunkt geht, beygebracht wird, macht, aſs sie sich beständig um den Durchmesser reht, welcher auf der durch ihren Mittel- unkt und durch die Richtung der einge- rückten Kraft gehenden Ebene lothrecht ist.

Neue Kräfte, welche alle ihre Punkte ɔllicitiren, und deren Resultat durch ihren ittelpunkt geht, ändern den Parallelismus ɔrer Umdrehungsachse nicht. Auf solche rt bleibt die Achse der Erde bey ihrem Um- ɔufe um die Sonne, immer sehr nahe sich lbst parallel, ohne daſs man nöthig hätte,

eine jährliche Bewegung der Erdpole um di Pole der Ekliptik mit dem *Copernicus* anzu nehmen.

Wenn der Körper irgend eine ande Figur hat, so kann seine Umdrehungsach jeden Augenblick sich ändern. Die Unte suchung dieser Veränderungen, wie auch im mer die auf den Körper wirkenden Kräft beschaffen seyn mögen, ist wegen ihre Beziehung auf das Vorrücken der Nacht gleichen und das Schwanken des Monds die wichtigste Aufgabe in der Mechanik der ve sten Körper. Durch ihre Auflösung ist man auf folgendes sonderbare und sehr nützliche Resultat geführt worden, dafs nämlich in jedem Körper drey auf einander lothrecht stehende Achsen vorhanden sind, um welche er sich gleichförmig drehen kann, wenn er nicht durch fremde Kräfte sollicitirt wird. Diese Achsen hat man daher *Hauptachsen der Umdrehung* genannt.

Ein schwerer Körper oder ein System von schweren Körpern, von was immer für einer Figur, das um eine veste und waagrechte Achse schwingt, stellt ein zusammengesetztes Pendel vor. In der Natur giebt es gar keine andere, und die einfachen Pendeln, wovon

wovon wir oben gesprochen haben, sind blofs geometrische, zur Vereinfachung der Gegenstände dienliche, Vorstellungsarten. Es ist leicht, die zusammengesetzten Pendeln, deren sämmtlichen Punkte vest an einander anschliefsen, auf solche zu beziehen. Wenn man die Länge des einfachen Pendels, dessen Schwingungen mit denen eines zusammengesetzten von gleicher Dauer sind, mit der ganzen Masse des letztern, und mit der Entfernung seines Schwerpunkts von der Achse des Schwungs multiplicirt, so ist das Product gleich der Summe der Producte von jedem Theilchen des zusammengesetzten Pendels in das Quadrat seiner Entfernung von der nämlichen Achse. Vermittelst dieser von Huygens erfundenen Regel hat man durch Versuche mit zusammengesetzten Pendeln, die Länge des einfachen Pendels, das Secunden schwingt, kennen gelernt.

Wir wollen uns ein Pendel gedenken, das sehr kleine Schwingungen macht, und setzen, dafs in dem Augenblicke, wo es von der lothrechten Linie am weitesten entfernt ist, eine kleine, auf der Ebene seiner Bewegung lothrechte Kraft eingedrückt werde; so wird es um die lothrechte Linie eine Ellipse

beschreiben. Um sich seine Bewegung vorzustellen, kann man sich ein eingebildetes Pendel gedenken, welches fortfährt zu schwingen, wie es das wirkliche Pendel, ohne die neue Kraft, die ihm eingedrückt wurde, gethan haben würde, während das letztere Pendel auf beyden Seiten des eingebildeten schwingt, wie wenn dieses unbeweglich lothrecht wäre. Die Bewegung des wirklichen Pendels ist also das Resultat von zwey einfachen Schwingungen, welche zugleich erfolgen, und leicht zu bestimmen sind.

Diese Art, die kleinen Schwingungen der Körper zu betrachten, läfst sich auf jedes System ausdehnen. Wenn man setzt, das System sey durch sehr kleine Stöfse aus dem Zustande des Gleichgewichts gebracht, und man ertheilt ihm sofort neue Stöfse, so wird es in Ansehung der Zustände, die es, vermöge der ersten Stöfse, nach einander angenommen haben würde, eben so schwingen, wie es in Absicht auf seinen Zustand des Gleichgewichts schwingen würde, wenn die neuen Stöfse ihm allein in diesem Zustande eingedrückt worden wären. Sehr kleine Schwingungen eines Systems von Körpern, so zusammengesetzt sie auch immer seyn mögen, können daher als

durch einfache, denen des Pendels völlig ähnliche Schwingungen gebildet angesehen werden. In der That, wenn man sich das System nur wenig aus dem Zustande des Gleichgewichts gebracht gedenkt, so dafs die Kraft, welche jeden Körper treibt, gegen den Punkt gerichtet ist, welchen er in diesem Zustande einnahm, und dafs sie überdiefs seiner Entfernung von diesem Punkt proportionirt ist, so ist klar, dafs diefs während des Schwungs des Systems Statt haben werde, und dafs in jedem Augenblicke die Geschwindigkeiten der verschiedenen Körper ihren Entfernungen von der Lage des Gleichgewichts proportionirt seyn werden; sie werden daher alle im nämlichen Augenblicke in diese Lage kommen, und auf die nämliche Art schwingen, wie ein einfaches Pendel. Aber der bisher bey dem Systeme angenommene Zustand der Störung des Gleichgewichts ist nicht der einzige. Wenn man einen von den Körpern von seiner Lage des Gleichgewichts entfernt, und die Lagen der andern Körper, welche den vorigen Bedingungen Genüge thun, sucht, so kommt man auf eine Gleichung von einem Grade, welcher der Zahl der Körper des Systems gleich ist, welches eben so viele Schwingungen giebt, als man Körper hat.

Wir wollen uns bey dem Systeme di erste dieser Schwingungen gedenken, und all Körper, nach dem Verhältnisse der auf di zweyte einfache Schwingung sich beziehenden Gröfsen, in Gedanken auf einen Augenblick von ihrer Lage entfernen. Vermöge der Gleichzeitigkeit der Schwingungen wird das System in Ansehung der Zustände, in welche es durch die erste einfache Schwingung nach einander gekommen seyn würde, eben so schwingen, wie es vermöge der zweyten allein um seinen Zustand des Gleichgewichts geschwungen haben würde; seine Bewegung wird also durch die zwey ersten einfachen Schwingungen bestimmt werden. Auf ähnliche Art kann man mit dieser Bewegung die dritte einfache Schwingung verbinden, und wenn man alle diese Schwingungen so mit einander zu verbinden fortfährt, so wird man alle möglichen Bewegungen des Systems auf die allgemeinste Art darstellen.

Hieraus ergiebt sich ein leichtes Mittel, die absolute Beharrlichkeit seines Gleichgewichts kennen zu lernen. Wenn nämlich in allen auf jede einfache Schwingung sich beziehenden Lagen die Kräfte, welche die Körper sollicitiren, bestrebt sind, sie in den Zustand

des Gleichgewichts zurückzuführen, so wird dieser Zustand beharrlich seyn; er wird es aber nicht seyn, oder er wird nur eine relative Beharrlichkeit haben, wenn in einer dieser Lagen die Kräfte bestrebt sind, die Körper davon zu entfernen.

Es ist sichtbar, dafs diese Art, sehr kleine Bewegungen eines Systems zu betrachten, sich auch auf flüssige Körper erstreckt, deren Schwingungen das Resultat von gleichzeitigen und oft unzählig vielen einfachen Schwingungen sind.

Ein sichtbares Beyspiel von der Gleichzeitigkeit sehr kleiner Schwingungen hat man an den Wellen. Wenn man einen Punkt der Oberfläche eines stehenden Wassers leicht bewegt, so sieht man kreisförmige Wellen um ihn her sich bilden und erweitern. Bewegt man die Oberfläche in einem andern Punkte, so bilden sich neue Wellen, und vermischen sich mit den ersten; sie legen sich über die durch die ersten Wellen erschütterte Fläche her, wie sie sich über eben diese Fläche im Ruhestande würden verbreitet haben, so dafs man sie in ihrer Mischung vollkommen unterscheidet. Was das Auge in Ansehung der Wellen gewahr nimmt, eben das empfindet das Ohr

in Ansehung der Töne, oder der Schwingu gen der Luft, die sich gleichzeitig fortpflz zen, ohne sich zu verändern, und sehr u terschiedene Eindrücke zu machen.

Der Grundsatz der Gleichzeitigkeit d einfachen Schwingungen, den man dem D niel Bernoulli zu danken hat, ist eins vo den allgemeinen Resultaten, welche durch d Leichtigkeit, die sie der Einbildungskraft g währen, die Erscheinungen und ihre auf ei ander folgenden Veränderungen sich vorz stellen, für sich einnehmen. Man kann il leicht aus der analytischen Theorie der klein Schwingungen eines Systems ableiten.

Diese hangen von linearen Differenti gleichungen ab, deren vollständige Integra die Summe der besondern Integrale sind.

Die einfachen Schwingungen legen si also eben so über einander her, um die Bew gung des Systems zu bilden, wie die beso dern Integrale, die sie darstellen, mit eina der verbunden werden, um die vollständig Integrale zu geben. Es ist sehr anziehend a solche Art in den sinnlichen Erscheinung der Natur die intellectuellen Wahrheiten d Analysis aufzusuchen. Diese Uebereinsti mung, wovon das Weltsystem uns zahlreic

Beyspiele aufstellen wird, hat für die Freunde mathematischer Speculationen einen der gröfsten Reitze.

Es ist natürlich, die Bewegungsgesetze der Körper auf einen allgemeinen Grundsatz zurückzuführen, wie man die Gesetze ihres Gleichgewichts in dem einzigen Grundsatze der virtuälen Geschwindigkeiten zusammengefafst hat. Um dazu zu gelangen, wollen wir die Bewegung eines Systems von Körpern betrachten, die auf einander wirken, ohne durch beschleunigende Kräfte sollicitirt zu werden. Ihre Geschwindigkeiten ändern sich jeden Augenblick; aber man kann jede dieser Geschwindigkeiten für jeden Augenblick als aus derjenigen, welche im folgenden Augenblicke Statt hat, und aus einer andern, welche im Anfange dieses zweyten Augenblicks aufhören mufs, zusammengesetzt betrachten. Wäre diese aufgehobene Geschwindigkeit bekannt, so wäre es leicht nach dem Gesetze der Zerlegung der Kräfte die Geschwindigkeit der Körper im zweyten Augenblicke daraus zu schliefsen. Nun ist aber klar, dafs, wenn die Körper nur mit den aufgehobenen Geschwindigkeiten getrieben worden wären, sie einander im Gleichgewichte

gehalten haben würden. Folglich werden die Gesetze des Gleichgewichts die Verhältnisse der verlornen Geschwindigkeiten geben, und es wird leicht seyn, daraus die übrigbleibenden Geschwindigkeiten und deren Richtungen herzuleiten; man wird also durch die Infinitesimalrechnung die successiven Veränderungen der Bewegung des Systems und seine Lage für jeden Augenblick erhalten.

Es ist klar, dafs wenn die Körper von beschleunigenden Kräften getrieben werden, man immer die nämliche Zerlegung der Geschwindindigkeiten vornehmen kann; aber alsdann mufs zwischen den aufgehobenen Geschwindigkeiten und diesen Kräften ein Gleichgewicht Statt finden.

Diese Art, die Gesetze der Bewegung auf die des Gleichgewichts zurückzuführen, die man hauptsächlich dem D'Alembert zu danken hat, ist allgemein und sehr lichtvoll. Man würde Ursache haben, sich zu wundern, dafs sie den Geometern, die sich vor ihm mit der Dynamik beschäftiget hatten, entgangen war, wenn man es nicht wüfste, dafs die einfachsten Ideen fast immer diejenigen sind, welche sich dem menschlichen Geiste zuletzt darbieten.

Es wäre nun noch übrig, den bisher erterten Grundsatz mit dem der virtualen schwindigkeiten zu vereinigen, um der echanik alle die Vollkommenheit zu ertheiı, deren sie empfänglich scheint. Dieſs t Lagrange gethan, und durch dieses Mitl hat er die Untersuchung der Bewegung nes jeden Systems von Körpern auf die tegration von Differentialgleichungen geacht; alsdann ist der Zweck der Mechanik füllt, und es ist die Sache der reinen Anasis, die Auflösung der Aufgaben zu Stande ı bringen. Hier folgt die einfachste Art, ese Gleichungen zu bilden.

Wenn man sich drey veste auf einander threchte Achsen gedenkt, und man zerlegt ir einen Augenblick die Geschwindigkeit von dem materiellen Punkte eines Systems von örpern in drey andere, diesen Achsen paralle, so wird man jede partiale Geschwindigeit während dieses Augenblicks als gleichförig betrachten können; man wird sich ferner orstellen können, der Punkt werde, am Ende es Augenblicks, einer dieser Achsen parallel, on drey Geschwindigkeiten getrieben, nämich von seiner Geschwindigkeit in diesem Auenblicke, von der kleinen Veränderung, die

er im folgenden Augenblicke erhielt, und von eben dieser Veränderung in entgegengesetzter Richtung genommen. Die zwey ersten dieser Geschwindigkeiten dauren im folgenden Augenblicke fort, die dritte mufs folglich durch die den Punkt sollicitirenden Kräfte, und durch die Wirkung der andern Punkte des Systems aufgehoben werden. Gedenkt man sich also die augenblicklichen Veränderungen der partialen Geschwindigkeiten von jedem Punkte des Systems an diesem Punkte in entgegengesetzter Richtung angebracht, so mufs das System vermöge aller dieser Veränderungen, und der Kräfte, die es treiben, im Gleichgewichte seyn.

Man wird also nach dem Grundsatze der virtualen Geschwindigkeiten die Gleichungen für dieses Gleichgewicht erhalten, und wenn man diese mit denen für die Verknüpfung der Theile des Systems verbindet, so wird man die Differentialgleichungen für die Bewegung eines jeden seiner Punkte erhalten.

Es ist sichtbar, dafs man auf eben diese Art die Gesetze der Bewegung der flüssigen Körper auf die ihres Gleichgewichts zurückführen kann. In diesem Falle beruhen die Bedingungen in Ansehung der Verbindung der Theile des Systems darauf, dafs das Volumen eines

jeden Theilchens des flüssigen Körpers immer das nämliche bleibt, wenn der flüssige Körper incompressibel ist, und dafs es von dem Druke nach einem gegebenen Gesetze abhängt, wenn der flüssige Körper elastisch und compressibel ist. Die Gleichungen, welche diese Bedingungen, und die Veränderungen der Bewegung des flüssigen Körpers ausdrücken, enthalten die partialen Differenzen der Coordinaten des Theilchens, entweder nach dem Verhältnisse der Zeit, oder nach dem Verhältnisse der ursprünglichen Coordinaten genommen.

Die Integration der Gleichungen dieser Art hat grofse Schwierigkeiten, und man hat noch nicht dazu gelangen können, ausser in einigen besonderen Fällen, die sich auf die Bewegung der schweren flüssigen Körper in Gefäfsen, auf die Theorie des Schalls und auf die Schwingungen des Meers und der Atmosphäre beziehen.

Die Betrachtung der Differentialgleichungen der Bewegung eines Systems von Körpern hat zur Entdeckung mehrerer allgemeinen sehr nützlichen Grundsätze der Mechanik geleitet, welche eine Erweiterung derjenigen sind, die wir im zweyten Kapitel dieses Buchs über die Bewegung eines Punkts beygebracht haben.

Gröfsen, um welche der Punkt gegen ihren Ursprung fortrückt. Bey der Bewegung eines jeden Systems ist das Doppelte der Summe aller dieser Producte die Veränderung der lebendigen Kraft des Systems.

Wenn die lebendige Kraft ihr Maximum oder ihr Minimum erreicht; so ist diese Veränderung Null; das System würde also, laut des Grundsatzes der virtualen Geschwindigkeiten, in dieser Lage, vermöge der beschleunigenden Kräfte, wovon es getrieben wird, im Gleichgewichte seyn. Unter allen Lagen also, welche das System nach einander annimmt, ist die, wobey es die gröfste oder kleinste lebendige Kraft hat, auch diejenige, bey welcher es im Gleichgewichte bleiben würde. Dabey ist auch das merkwürdig, dafs, wenn bey dieser Lage die lebendige Kraft beständig ein Maximum ist, das Gleichgewicht beharrlich ist, wie auch immer die Geschwindigkeiten der Körper, wenn sie dazu gelangen, beschaffen seyn mögen; dafs es aber das nicht ist, wenn die lebendige Kraft dabey beständig ein Minimum ist. Dieſs folgt offenbar aus dem, was wir oben von den einfachen Schwingungen eines Systems von Körpern gesagt haben.

dius Vectors beschriebene Fläche der Zeit proportionirt. Darin besteht der Grundsatz der *Erhaltung der Flächen.*

Die *lebendige Kraft* eines Systems von Körpern nennt man die Summe der Producte der Masse eines jeden Körpers in das Quadrat seiner Geschwindigkeit. Wenn sich ein Körper auf einer Linie oder Fläche bewegt, ohne eine fremde Einwirkung zu leiden, so ist seine lebendige Kraft immer die nämliche, weil seine Geschwindigkeit beständig ist. Wenn die Körper eines Systems keine andere Wirkungen leiden, als ihre gegenseitigen Züge und Pressungen, entweder unmittelbar, oder vermittelst undehnbarer und unelastischer Stäbe und Fäden, so wird die lebendige Kraft des Systems beständig seyn, selbst in dem Falle, wenn mehrere dieser Körper genöthiget würden, sich in krummen Linien oder Flächen zu bewegen. Dieſs ist der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kräfte.

Bey der Bewegung eines durch was immer für Kräfte sollicitirten Punkts ist die Veränderung der lebendigen Kraft gleich der doppelten Summe der Producte der Masse des Punkts in jede der beschleunigenden Kräfte, stückweise multiplicirt durch die elementarischen

Gröſsen, um welche der Punkt gegen ihren Ursprung fortrückt. Bey der Bewegung eines jeden Systems ist das Doppelte der Summe aller dieser Producte die Veränderung der lebendigen Kraft des Systems.

Wenn die lebendige Kraft ihr Maximum oder ihr Minimum erreicht; so ist diese Veränderung Null; das System würde also, laut des Grundsatzes der virtualen Geschwindigkeiten, in dieser Lage, vermöge der beschleunigenden Kräfte, wovon es getrieben wird, im Gleichgewichte seyn. Unter allen Lagen also, welche das System nach einander annimmt, ist die, wobey es die gröſste oder kleinste lebendige Kraft hat, auch diejenige, bey welcher es im Gleichgewichte bleiben würde. Dabey ist auch das merkwürdig, daſs, wenn bey dieser Lage die lebendige Kraft beständig ein Maximum ist, das Gleichgewicht beharrlich ist, wie auch immer die Geschwindigkeiten der Körper, wenn sie dazu gelangen, beschaffen seyn mögen; daſs es aber das nicht ist, wenn die lebendige Kraft dabey beständig ein Minimum ist. Dieſs folgt offenbar aus dem, was wir oben von den einfachen Schwingungen eines Systems von Körpern gesagt haben.

Endlich haben wir im zweyten Kapitel gesehen, dafs die Summe der Integrale des Products der Masse von jedem Körper eines Systems in seine Geschwindigkeit, und in das Element der Curve, die er beschreibt, ein Minimum ist. Dieſs giebt den Grundsatz von der kleinsten Wirkung, welcher von den Grundsätzen der gleichförmigen Bewegung des Schwerpunkts und der Erhaltung der Flächen und der lebendigen Kräfte darin unterschieden ist, dafs diese Grundsätze wahre Integrale der Differentialgleichungen der Bewegung der Körper sind, da jener nur eine besondere Verbindung eben dieser Gleichungen ist.

Es läfst sich hier noch eine wichtige Bemerkung über die Ausdehnung dieser verschiedenen Grundsätze machen. Der Grundsatz der gleichförmigen Bewegung des Schwerpunkts eines Systems von Körpern, und der Grundsatz der Erhaltung der Flächen, bestehen selbst in dem Falle, wenn durch die gegenseitige Wirkung der Körper plötzliche Veränderungen in ihren Bewegungen entstehen, und dieſs macht diese Grundsätze unter mehreren Umständen sehr nützlich; aber der Grundsatz der Erhaltung der lebendigen Kräfte, und der der kleinsten Wirkung fordern, dafs

die Veränderungen der Bewegungen des Systems nach unmerklichen Abstuffungen erfolgen.

Wenn das System durch die gegenseitige Wirkung der Körper, oder durch das Aufstossen von Hindernissen, plötzliche Veränderungen erfährt, so leidet die lebendige Kraft bey jeder dieser Veränderungen eine Verminderung, die der Summe der Producte jeder Masse multiplicirt durch die Summe der Quadrate der Abwechselungen, welche diese Veränderung in ihrer, nach paralleler Richtung mit drey auf einander lothrechten Achsen zerlegten Geschwindigkeit hervorbringt, gleich ist.

Alle diese Grundsätze würden in Ansehung der relativen Bewegung der Körper des Systems, auch dann noch bestehen, wenn es mit einer allgemeinen, und den Brennpunkten der Kräfte, die wir als vest angenommen haben, gemeinschaftlichen Bewegung fortgeführt würde. Auf gleiche Art haben sie bey der relativen Bewegung der Körper auf der Erde Statt. Denn es ist, wie wir schon bemerkt haben, unmöglich, von der absoluten Bewegung eines Systems von Körpern, nach den bloßen Erscheinungen seiner relativen Bewegung, zu urtheilen.

Druckfehler und Verbeſſerungen.

Seite 7. Zeile 2. von Unten, ſtatt *einen* leſe man: *einer*
— 25. Z. 4. v. U. ſt. *Rauminhalt* l. m. *Raumsinhalt*
— 48. Z. 9. v. O. iſt zwiſchen den Zahlen 19 und 235 iſt das Wort: *zu* einzuſchalten
— 77. Z. 4. v. O. ſt. *ſelbs* l. m. *ſelbſt*
— 91. Z. 7. v. U. ſt. *ihrer Bewegung* l. m. *ihren Bewegungen*
— 100. Z. 9. v. U. ſt. *Vorrücken* l. m. *Verrücken*
— 103. Z. 2. v. U. ſt. *Syrius* l. m. *Sirius*
— 106. Z. 9. v. O. ſt. *Erdpunkte* l. m. *Endpunkte*
— 117. Z. 3. v. O. ſt. *zo* l. m. *ſo*
— 133. Z. 1. v. U. ſt. *Lavoiſiers* l. m. *Lavoiſier*
— 135. Z. 10. v. U. ſt. *unwiderſprechliche* l. m. *unwiderſtehliche*
— 157. Z. 14. v. U. ſt. *ungleich* l. m. *gleich*
— 170. Z. 6. v. U. ſt. *ſogenannten* l. m. *vorgenannten*
— 184. Z. 8. v. O. ſt. *flüſſige* l. m. *flüchtige*
— 204. Z. 2. v. U. ſt. *mit der Erde* l. m. *mit der der Erde*
— 207. Z. 3. v. O. ſt. *Betrachtungen* l. m. *Betrachtung*
— 227. Z. 4. v. O. ſt. *wechſeln* l. m. *wachſen*
— 248. Z. 10. v. U. ſt. *Perioden* l. m. *Periode*
— 272. Z. 7. v. U. ſt. *Erforſchung* l. m. *Erfahrung*
— 279. Z. 1. v. O. ſt. *mit der Erde* l. m. *mit der der Erde*
— 330. Z. 3. v. U. ſt. *gerade* l. m. *geraden*
— 332. Z. 2. v. U. ſt. *ſeyen* l. m. *ſeyn*
— 337. Z. 2. v. U. iſt vor dem Worte: *eine* einzuſchalten: *ihm*

Seite 338. Z. 8. v. O. iſt nach dem Worte: *unbew*
lich, einzuſchalten: *und*
— 342. Z. 4. v. O. iſt das Wort: *zu* wegzuſtreich

Wie es nun von dem gröſseren Theile die
Fehler ſichtbar iſt, daſs ſie blos in einer ſeltſam
Epanorthoſiomanie des Correctors, nach welch
derſelbe ſeine Pflicht auch auf mein Manuſcr
ausdehnen zu müſſen glaubte, ihren Grund habe
ſo muſs ich das nämliche auch von der in die
Ueberſezung angenommenen Rechtſchreibung
gen. — Der Corrector nahm ſich nämlich
Freyheit, mein

Axé	in	Achſe
Flecken	—	Flekken
nämlich	—	nemlich
fing	—	fieng
ging	—	gieng
beſtättigen	—	beſtätigen
ſezen	—	ſetzen oder ſezz
Geſez	—	Geſetz
Wage	—	Waage
wagrecht	—	waagrecht
Manchfaltigkeit	—	Mannichfaltigk
lebloſen	—	lebloſsen
Schale	—	Schaale
ohngefähr	—	ungefähr

zu verwandeln, und weil er nicht aufmerkſam
nug war, dies jedesmal zu thun, ſo entſtand d
aus der noch unangenehmere Mangel an Glei
förmigkeit.

Hauff.

Darſtellung des Weltſyſtems

durch

Peter Simon La Place

Mitglied des Franzöſiſchen Nationalinſtituts und der Commiſſion wegen der Meereslänge.

Aus dem Franzöſiſchen überſezt

von

ohann Karl Friedrich Hauff.

Zweyter Theil.

Frankfurt am Mayn,

ey Varrentrapp und Wenner.

1 7 9 7.

Inhalt.

Viertes Buch.

Von der Theorie der allgemeinen Schwere.

Seite

1. Kap. Von dem Grundsaze der allgemeinen Schwere. - - - 1
2. — Von den Massen der Planeten und der Schwere auf ihrer Oberfläche. - 28
3. — Von den Störungen der elliptischen Bewegung der Planeten. - - - 37
4. — Von den Störungen der elliptischen Bewegung der Kometen. - - 59
5. — Von den Störungen der Bewegung des Monds. - - - - 66
6. — Von den Störungen der Jupiterstrabanten. 87
7. — Von der Gestalt der Erde und der Planeten und dem Geseze der Schwere auf ihrer Oberfläche. - - 103
8. — Von der Gestalt des Rings des Saturns. 126
9. — Von den Atmosphären der Himmelskörper. - - - - 130
10. — Von der Ebbe und Fluth des Meeres. 135
11. — Von der Beständigkeit des Gleichgewichts der Meere. - - - 171
12. — Von den Schwingungen der Atmosphäre. 173

Inhalt.

Seite

13. Kap. Von dem Vorrücken der Nachtgleichen und dem Wanken der Erdaxe. - 176
14. — Von dem Schwanken des Monds. - 195
15. — Betrachtungen über das Gesez der allgemeinen Schwere. - - 201

Fünftes Buch.

Uebersicht der Geschichte der Astronomie.

1. — Von der alten Astronomie bis auf die Stiftung der alexandrinischen Schule. 216
2. — Von der Astronomie seit der Stiftung der alexandrinischen Schule bis auf die Araber. - - - 234
3. — Von der Astronomie der Araber, Chinesen und Perser. - - 258
4. — Von der Astronomie im neueren Europa. 265
5. — Von der Entdeckung der allgemeinen Schwere. - - - 300
6. — Betrachtungen über das Weltsystem und über die künftigen Fortschritte der Astronomie. - - - 320

Darstellung des Weltsystems.

Opinionum commenta delet dies, naturae judicia confirmat.

Cicl de Nat. Deor.

Viertes Buch.

Von der Theorie der allgemeinen Schwere.

Nachdem wir in den vorigen Büchern die Geseze der himmlischen Bewegungen und die Wirkungsgeseze der bewegenden Kräfte aufgestellt haben, so müssen wir diese noch mit einander vergleichen, um die Kräfte kennen zu lernen, welche die Körper des Sonnensystems treiben, und um uns ohne Hypothesen, und durch geometrische Schlüsse zu dem allgemeinen Grundsaze der Schwere, aus welchem sie herfliessen, zu erheben.

Im Himmelsraume werden die Geseze der Mechanik mit der gröfsten Genauigkeit

Gröfsen, um welche der Punkt gegen ihren Ursprung fortrückt. Bey der Bewegung eines jeden Systems ist das Doppelte der Summe aller dieser Producte die Veränderung der lebendigen Kraft des Systems.

Wenn die lebendige Kraft ihr Maximum oder ihr Minimum erreicht, so ist diese Veränderung Null; das System würde also, laut des Grundsatzes der virtualen Geschwindigkeiten, in dieser Lage, vermöge der beschleunigenden Kräfte, wovon es getrieben wird, im Gleichgewichte seyn. Unter allen Lagen also, welche das System nach einander annimmt, ist die, wobey es die gröfste oder kleinste lebendige Kraft hat, auch diejenige, bey welcher es im Gleichgewichte bleiben würde. Dabey ist auch das merkwürdig, dafs, wenn bey dieser Lage die lebendige Kraft beständig ein Maximum ist, das Gleichgewicht beharrlich ist, wie auch immer die Geschwindigkeiten der Körper, wenn sie dazu gelangen, beschaffen seyn mögen; dafs es aber das nicht ist, wenn die lebendige Kraft dabey beständig ein Minimum ist. Dieſs folgt offenbar aus dem, was wir oben von den einfachen Schwingungen eines Systems von Körpern gesagt haben.

unter ihren Ungleichheiten keine einzige giebt, die nicht mit einer bewundernswürdigen Genauigkeit daraus herflösse, und dafs es mehrere besondere Bewegungen veranlafst hat, welche die Astronomen wahrgenommen haben, die aber zu verwickelt oder zu langsam sind, als dafs sie die Geseze derselben hätten erkennen können. Man hat also so wenig Ursache zu fürchten, neue Beobachtungen möchten dieſs Gesez umstofsen, dafs man vielmehr versichert seyn kann, dafs sie es immer mehr und mehr bestättigen werden, und man mufs seine Folgen für eben so zuverläfsig halten, als ob sie unmittelbar wären beobachtet worden.

Die tiefste Geometrie war unumgänglich nöthig, um diese verschiedenen Theorien aufzustellen. Ich habe sie in einer Abhandlung über die himmlische Mechanik gesammelt, die ich herauszugeben im Sinne habe. Hier werde ich mich darauf einschränken, die wichtigsten Resultate dieses Werks vorzulegen, wobey ich zugleich den Weg zeigen werde, auf welchem die Geometer dazu gelangt sind, und die Gründe davon bemerklich machen, so weit als dieses ohne Hülfe der Analysis sich thun läfst.

Erstes Kapitel.

Von dem Grundsaze der allgemeinen Schwere.

Unter den Erscheinungen des Sonnensystems scheint die elliptische Bewegung der Planeten und Kometen am meisten dazu geschickt, uns auf das allgemeine Gesez der Kräfte, von welchen es getrieben wird, zu führen. Durch Beobachtung hat man gefunden, daſs die durch die Radios Vectores der Planeten und Kometen um die Sonne beschriebenen Flächen den Zeiten proportionirt sind; nun hat man im zweyten Kapitel des vorigen Buchs gesehen, daſs dazu erfordert wird, daſs die Kraft, welche jeden dieſer Körper ohne Unterlaſs von der geraden Linie ablenkt, beständig gegen den Anfang des Radius Vector gerichtet sey; das gegen die Sonne gerichtete Bestreben der Planeten und Kometen ist also eine nothwendige Folge von der Proportionalität der durch die Radios Vectores beschriebenen Flächen mit den zu Beschreibung derselben angewandten Zeiten.

Um das Gesez dieses Bestrebens zu bestimmen, wollen wir annehmen, die Planeten bewegen sich in kreisförmigen Bahnen, welches nicht viel von der Wahrheit abweicht.

Die Quadrate ihrer realen Geschwindigkeiten sind alsdann den Quadraten der Halbmesser dieser Bahnen, dividirt durch die Quadrate ihrer Umlaufszeiten, proportionirt; aber nach den Keplerischen Gesezen verhalten sich die Quadrate dieser Zeiten zusammen, wie die Würfel eben dieser Halbmesser; folglich verhalten sich die Quadrate der Geschwindigkeiten umgekehrt wie diese Halbmesser. Man hat im Vorhergehenden gesehen, dafs die Centralkräfte mehrerer in kreisförmiger Bewegung begriffenen Körper sich verhalten wie die Quadrate der Geschwindigkeiten dividirt durch die Halbmesser der beschriebenen Kreise; die Bestrebungen der Planeten gegen die Sonne verhalten sich demnach umgekehrt wie die Quadrate der Halbmesser ihrer für kreisförmig angenommenen Bahnen. Diese Voraussezung ist zwar, man mufs es gestehen, nicht ganz genau; da aber das beständige Verhältnifs der Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten mit den Würfeln der grofsen Axen ihrer Bahnen von den Excentricitäten unabhängig ist, so ist es natürlich zu denken, dafs es auch dann noch Statt finden würde, wenn diese Bahnen kreisförmig wären. Das Gesez der Schwere gegen die Sonne

im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats
Entfernungen ist also durch dieses Verhäl
deutlich angezeigt.

Die Analogie macht uns geneigt, zu
ben, dafs dieses Gesez, das sich von ei
Planeten zum andern erstreckt, auch für
nämlichen Planeten, bey seinen verschi
nen Entfernungen von der Sonne auf gl
Art Statt habe; seine elliptische Bewe
läfst in dieser Hinsicht keinen Zweifel ü
Um diefs zu zeigen, wollen wir diese B
gung verfolgen, indem wir den Planeten
der Sonnennähe ausgehen lassen. Seine
schwindigkeit ist alsdann in ihrem Maxin
und sein Bestreben, sich von der Sonn
entfernen, das gröfser ist als seine Sch
gegen dieses Gestirn, verlängert seinen R
Vector, und macht mit der Richtung s
Bewegung stumpfe Winkel. Die Sch
gegen die Sonne, nach dieser Richtung
legt, vermindert daher die Geschwindi
mehr und mehr, bis der Planet seine So
ferne erreicht hat. In diesem Punkte
der Radius Vector wieder auf der Curve
recht, die Geschwindigkeit ist in ihrem
nimum; und da das Bestreben, sich vo
Sonne zu entfernen, kleiner ist, al

Schwere gegen die Sonne, so nähert sich der Planet derselben wieder, indem er den zweyten Theil seiner Ellipse beschreibt. In diesem Theile vermehrt seine Schwere gegen die Sonne seine Geschwindigkeit, wie sie vorher solche vermindert hatte, der Planet findet sich mit seiner anfänglichen Geschwindigkeit wieder bey der Sonnennähe ein, und fängt wieder einen neuen, dem vorigen ähnlichen, Umlauf an. Da indessen die Krümmung der Ellipse in der Sonnennähe und in der Sonnenferne die nämliche ist, so sind auch die Krümmungshalbmesser daselbst die nämlichen, und folglich verhalten sich die Centrifugalkräfte in diesen beyden Punkten zusammen wie die Quadrate der Geschwindigkeiten. Da die in einerley Zeit beschriebenen Sectoren einander gleich sind, so verhalten sich die Geschwindigkeiten in der Sonnennähe und Sonnenferne umgekehrt wie die zugehörigen Abstände des Planeten von der Sonne; die Quadrate dieser Geschwindigkeiten verhalten sich also umgekehrt wie die Quadrate eben dieser Abstände. Nun sind in der Sonnennähe und Sonnenferne die Centrifugalkräfte in den Peripherien der Krümmungskreise offenbar den Schweren des Planeten gegen die

Sonne gleich; folglich stehen diese Schweren im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen von diesem Gestirne.

So waren Huygens Lehrsäze von der Centrifugalkraft zureichend, um das Gesez des Bestrebens der Planeten gegen die Sonne zu erkennen; denn es ist sehr wahrscheinlich, daſs ein Gesez, welches von einem Planeten zum andern Statt hat, und das sich für jeden Planeten in der Sonnennähe und Sonnenferne bestättigt, sich auf alle Punkte der Planetenbahnen, und überhaupt auf alle Entfernungen von der Sonne erstrecke. Aber um es auf eine unwidersprechliche Art vest zusezen, muſste man den allgemeinen Ausdruck der Kraft haben, die einen geworfenen Körper in einer Ellipse herumführt, gegen deren Brennpunkt sie gerichtet ist.

Newton fand, daſs in der That diese Kraft dem Quadrate des Radius Vector umgekehrt proportionirt ist. Er muſste noch strenge beweisen, daſs die Schwere gegen die Sonne von einem Planeten zum andern sich nur nach dem Verhältnisse der Entfernung von diesem Gestirne ändere. Dieser groſse Geometer zeigte, daſs dieſs aus dem Gesezе folge, nach welchem die Quadrate der Um-

laufszeiten den Würfeln der groſsen Axen der Bahnen proportionirt sind. Sezt man also alle Planeten, in gleicher Entfernung von der Sonne, in Ruhe, und ihrer Schwere gegen den Mittelpunkt der leztern überlassen, so werden sie in gleicher Zeit von einerley Höhe fallen; und dieſs Resultat muſs man auch auf die Kometen ausdehnen, obgleich die groſsen Axen ihrer Bahnen unbekannt sind; denn wir haben im zweyten Buche gesehen, daſs die Gröſse der durch ihre Radios Vectores beschriebenen Flächen das Gesez voraussezt, daſs die Quadrate ihrer Umlaufszeiten den Würfeln dieser Axen proportionirt seyen.

Die Analysis, welche vermöge ihrer Allgemeinheit alles umfaſst, was aus einem gegebenen Geseze hergeleitet werden kann, zeigt uns, daſs nicht blos die Ellipse, sondern jeder Kegelschnitt, vermöge der Kraft, welche die Planeten in ihren Bahnen erhält, beschrieben werden könne. Ein Komet kann sich also in einer Hyperbel bewegen, aber alsdann würde er nur *einmal* sichtbar seyn, und nach seiner Erscheinung, sich bis über die Grenzen des Sonnensystems hinaus entfernen, und sich neuen Sonnen nähern, um

auch von diesen noch sich zu entfernen; so würde er die verschiedenen durch den ermeſslichen Himmelsraum vertheilten Sy me durchlaufen. Betrachtet man die un liche Manchfaltigkeit der Natur, so is wahrscheinlich, daſs es dergleichen Kö giebt. Ihre Erscheinungen müssen sehr se seyn, und wir müssen meistens nur so Kometen beobachten, welche in Bahnen, in sich selbst zurücklaufen, wieder, auf g sere oder geringere Entfernungen, in die Sonne nahe gelegenen Gegenden des W raums kommen.

Auch die Trabanten haben ein ähnli Bestreben gegen dieses Gestirn. Wäre Mond nicht seiner Einwirkung unterwor so würde er, anstatt eine beynahe kreisförr Bahn um die Erde zu beschreiben, sie gar verlassen; und wenn dieser Trabant und des Jupiters nicht nach dem nämlichen Ges wie die Planeten, gegen die Sonne getrie würden, so würden daraus in ihren Bewe gen merkliche Ungleichheiten entstehen, we die Beobachtung nicht zu erkennen giebt. Kometen, die Planeten und die Traba sind also dem nämlichen Geseze der Schv gegen dieses Gestirn unterworfen. Wäh

die Trabanten sich um ihren Planeten bewegen, wird zu gleicher Zeit das ganze System des Planeten und seiner Trabanten, mit einer gemeinschaftlichen Bewegung im Weltraume, fortgeführt, und durch die nämliche Kraft bey der Sonne erhalten; folglich ist die relative Bewegung des Planeten und seiner Trabanten ohngefähr die nämliche, wie wenn der Planet in Ruhe wäre, und keine fremde Einwirkung erführe.

So sind wir also ohne einige Hypothese, und durch eine nothwendige Folge der himmlischen Bewegungsgeseze darauf geleitet worden, den Mittelpunkt der Sonne als den Brennpunkt einer Kraft zu betrachten, die sich unbestimmbar weit durch den Weltraum verbreitet, im Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen abnimmt, und alle in ihrem Wirkungskreise eingeschlossenen Körper anzieht. Jedes der Kepplerischen Geseze entdeckt uns eine Eigenschaft dieser anziehenden Kraft; das Gesez der Proportionalität der Flächen und der Zeiten zeigt uns, dafs sie beständig gegen den Mittelpunkt der Sonne gerichtet ist; die elliptische Gestalt der Planetenbahnen beweifst uns, dafs diese Kraft abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt; und das Gesez der Pro-

portionalität der Quadrate der Umlaufszeiten mit den Würfeln der grofsen Axen der Bahnen lehrt uns, dafs alle Körper in gleichen Entfernungen einerley Schwere gegen die Sonne haben. Wir wollen diese Schwere die *Attraction* der Sonne nennen, wenn wir sie in Beziehung auf den Mittelpunkt der Sonne, gegen welchen sie gerichtet ist, betrachten; denn ohne die Ursache davon zu kennen, können wir, nach einer Vorstellungsart, wovon die Geometer oft Gebrauch machen, diese Erscheinung, als die Wirkung einer der Sonne inwohnenden Anziehungskraft, ansehen.

Da die Fehler, denen die Beobachtungen ausgesezt sind, und die kleinen Stöhrungen der elliptischen Bewegung der Planeten noch einige Ungewifsheit in Ansehung der Resultate zurücklassen, die wir aus den Gesezen dieser Bewegung gezogen haben; so kann man den Saz noch bezweifeln, dafs die Schwere gegen die Sonne genau in dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen abnehme. Aber, wie wenig sie auch von diesem Gesezе abwiche, so würde doch der Unterschied in den Bewegungen der Sonnennähen der Planetenbahnen sehr merklich seyn. Die Sonnennähe der Erdbahn würde eine jährliche Bewe-

gung von 200″ haben, wenn man die der Entfernung, welcher die Schwere gegen die Sonne umgekehrt proportionirt ist, zugehörige Kraft nur um ein Zehntausendtheilchen vermehrte; nach den Beobachtungen aber beträgt diese Bewegung nur 36,″4, und wir werden in der Folge die Ursache davon finden. Das Gesez der Schwere im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen trifft also wenigstens äusserst nahe zu, und seine grofse Einfachheit mufs uns bestimmen, es so lange anzunehmen, als wir nicht durch die Beobachtungen genöthigt werden, es zu verlassen. Ohne Zweifel mufs man die Einfachheit der Naturgeseze nicht nach der Leichtigkeit, womit wir sie uns vorstellen können, abmessen; aber, wenn die, welche uns die einfachsten zu seyn scheinen, mit allen Erscheinungen vollkommen übereinstimmen, so sind wir wohl berechtigt, sie als völlig genau anzusehen.

Die Schwere der Trabanten gegen den Mittelpunkt ihres Planeten ist eine nothwendige Folge der Proportionalität der durch ihre Radios Vectores beschriebenen Flächen mit den Zeiten, und das Gesez der Abnahme dieser Kraft im Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen ist durch die elliptische Gestalt ihrer Bahnen

angezeigt. Diese elliptische Gestalt ist bey den Bahnen des Jupiters, Saturns und Uranus kaum merklich; dadurch wird es schwer das Gesez der Verminderung der Schwere durch die Bewegung eines jeden Trabanten zu bestätigen; aber das beständige Verhältniſs der Quadrate ihrer Umlaufszeiten zu den Würfeln der groſsen Axen ihrer Bahnen zeigt solche augenscheinlich an, indem es uns zeigt, daſs von einem Trabanten zum andern, die Schwere gegen den Planeten dem Quadrate der Entfernungen von seinem Mittelpunkte umgekehrt proportionirt ist.

Dieser Beweis fehlt uns bey der Erde, welche nur *einen* Trabanten hat; man kann ihn aber hier durch folgende Betrachtungen ersezen.

Die Schwere erstreckt sich bis auf den Gipfel der höchsten Berge, und die geringe Verminderung, die sie dort erfährt, läſst uns nicht zweifeln, daſs auch in viel gröſsern Höhen ihre Wirkung noch merklich seyn würde. Ist es nun nicht natürlich, sie bis auf den Mond auszudehnen, und zu denken, die Kraft, welche dieses Gestirn in seiner Bahn erhält, sey seine Schwere gegen die Erde, so wie die Schwere gegen die Sonne die Planeten in ihren

respectiven Bahnen erhält? In der That scheinen diese beyden Kräfte von einerley Beschaffenheit zu seyn. Beyde durchdringen die innersten Theile der Materie, und treiben sie mit einerley Geschwindigkeit; denn wir haben gesehen, dafs die Schwere gegen die Sonne alle in gleicher Entfernung von der Sonne befindlichen Körper gleichförmig anziehe, wie die Schwere gegen die Erde sie im leeren Raume in gleichen Zeiten von einerley Höhe zu fallen treibt.

Ein in einer grofsen Höhe mit einer gewissen Kraft in wagrechter Richtung geworfener Körper fällt in einer gewissen Entfernung auf die Erde zurück, nachdem er eine merklich parabolische Curve beschrieben hat. Er würde in gröfserer Entfernung zurückfallen, wenn die durch den Wurf erlangte Geschwindigkeit beträchtlicher wäre; und wenn man diese ohngefähr zu 21000 Fufs in einer Secunde annimmt, so würde der geworfene Körper, ohne den Widerstand der Atmosphäre, gar nicht zurückfallen, sondern wie ein Trabant um die Erde laufen.

Um den Mond aus diesem geworfenen Körper zu machen, braucht man ihn nur auf einerley Höhe mit diesem Gestirne zu er-

lieben, und ihm die nämliche Wurfsbewegung zu geben.

Endlich erhält der Beweis der Identität von dem Bestreben des Monds gegen die Erde mit der Schwere seine vollständige Bündigkeit durch die Bemerkung, daſs man, um dieſs Bestreben zu erhalten, nur die Schwere gegen die Erde nach dem allgemeinen Gesetze der Veränderung der Anziehungskraft der Himmelskörper zu vermindern braucht. Dieſs wollen wir so umständlich auseinander sezen, als es der Wichtigkeit dieses Gegenstandes angemessen ist.

Die Kraft, die den Mond jeden Augenblick von der Tangente seiner Bahn entfernt, führt ihn in einer Secunde durch einen Raum, welcher dem Quersinus des Bogens, den er in der nämlichen Zeit beschreibt, gleich ist, da dieser Sinus die Gröſse ist, um welche der Mond am Ende der Secunde, von der Richtung, die er am Anfange derselben hatte, sich entfernt hat. Man kann ihn durch die Entfernung des Monds von der Erde bestimmen, welche die Mondparallaxe in Theilen des Erdhalbmessers giebt; um aber ein von den Ungleichheiten der Mondsbewegung unabhängiges Resultat zu erhalten, muſs man den von

dieser

esen Ungleichheiten unabhängigen Theil
ser Parallaxe für seine mittlere Parallaxe
nehmen.

Dieser Theil ist, in Beziehung auf den
s dem Schwerpunkte der Erde an ihre Ober-
che gehenden Radius unter dem Parallel,
welchen das Quadrat des Sinus der Breite
st, nach den Beobachtungen, 10556″ gleich.
ir wählen diesen Parallel, weil die Attraction
r Erde in den übereinstimmenden Punkten
ner Fläche, sehr nahe wie in der Entfer-
ng des Monds, der Masse der Erde, divi-
t durch das Quadrat der Entfernung von
em Schwerpunkte gleich ist. Der von ei-
m Punkte dieses Parallels nach dem Schwer-
nkte der Erde gehende Halbmesser ist
614648 Fuss gross; daraus läfst sich leicht
ıliefsen, dafs die Kraft, welche den Mond
gen die Erde treibt, ihn in einer Secunde
rch 0,00312808 Fuss führt. Wir werden
der Folge sehen, dafs die Wirkung, der
nne die Schwere des Monds um den 358sten
heil derselben vermindere; man mufs daher
e vorige Höhe um $\frac{1}{358}$ vermehren, um sie
n der Wirkung der Sonne unabhängig zu
achen, und alsdann wird sie 0,00313682
ıfs. Aber bey seiner relativen Bewegung

um die Erde wird der Mond durch eine Kra getrieben, welche der Summe der Massen d Erde und des Monds dividirt durch das Qu drat ihrer gegenseitigen Entfernung gleich is Um also die Höhe zu erhalten, von welch der Mond blos vermöge der Wirkung d Erde, in einer Secunde fallen würde, mu man den vorigen Raum in dem Verhältnis der Masse der Erde zur Summe der Masse der Erde und des Monds vermindern. Nu haben die Erscheinungen der Ebbe und Flut des Meeres mir die Masse des Monds $\frac{1}{58,7}$ von der Erde gleich gegeben. Multiplicir man also diesen Raum durch $\frac{58,7}{59,7}$, so erhäl man 0,00308428 Fuſs für die Höhe, von wel cher die Attraction der Erde den Mond in ei ner Secunde zu fallen treibt.

Wir wollen nun diese Höhe mit derje nigen vergleichen, welche sich aus den Beob achtungen des Pendels ergiebt. Unter dem Parallel, welchen wir betrachten, ist die Län ge des Secundenpendels, nach dem zwölften Kapitel des ersten Buchs, 2,280923 Fuſs gleich, welches für den Raum, durch welchen die Schwere die Körper in einer Secunde führt 11,25591 Fuſs giebt.

Aber unter diesem Parallel ist die Attraction der Erde kleiner, als die ganze Schwere (*gravité*) *), um zwey Drittheile der von der Umdrehung der Erde am Aequator herrührenden Centrifugalkraft, und diese Kraft ist $\frac{1}{288}$ der Schwere **); man muſs daher den obigen Raum noch um den 432sten Theil desselben vermehren, um den Raum zu erhalten, der blos vermöge der Wirkung der Erde durchloffen wird, welche unter diesem Parallel der Masse derselben, dividirt durch das Quadrat des Erdhalbmessers gleich ist; und so erhält man 11,28196 Fuſs für diesen Raum. Für die Entfernung des Monds muſs er in dem Verhältnisse des Quadrats des Halbmessers des Erdsphäroids zu dem Quadrate der Entfernung dieses Gestirns vermindert werden; und da man ihn, zu dieser Absicht, wie man leicht sieht, nur mit dem Quadrate von der Tangente der Mondsparallaxe, oder von 10556″ Secunden zu multipliciren braucht, so erhält man 0,00310187 Fuſs für die Höhe, von welcher der Mond, vermöge der Attraction der Erde, in einer Secunde fallen muſs.

*) Man vergleiche 1. Theil S. 292.

**) Hier steht in der Urschrift das Wort *pesanteur*: vermöge der angeführten Stelle des ersten Theils sollte aber dafür stehen *gravité*.

Diese durch die Versuche mit dem Pendel bestimmte Höhe, ist von der, welche sich aus der unmittelbaren Beobachtung der Parallaxe ergiebt, nur wenig unterschieden, und um sie einander gleich zu machen, braucht man nur die Mondsparallaxe um 20″ zu vermindern, und auf 1053″6 zu sezen. Dieſs ist also die Parallaxe, die sich aus der Theorie der Schwere ergiebt, und von der beobachteten nicht um $\frac{1}{500}$ unterschieden ist, und in Betrachtung der Elemente, die zu ihrer Bestimmung dienen, glaube ich, daſs sie der lezteren vorzuziehen sey. Um aus der Theorie der Schwere die nämliche Parallaxe, wie aus den Beobachtungen, zu erhalten, brauchte man nur für die Masse des Monds $\frac{1}{89}$ von der der Erde anzunehmen, wie sie aus der durch Bradley bestimmten Gröſse der Nutation sich ergiebt; aber alle Erscheinungen der Ebbe und Fluth stimmen dahin überein, diesem Trabanten eine ansehnlichere, und zwar sehr nahe eine so groſse Masse zu geben, wie wir sie oben zum Grunde gelegt haben. Wie dem aber auch sey, so liegt der kleine Unterschied der beyden Parallaxen in den Grenzen der Fehler der Beobachtungen, und der bey der Berechnung gebrauchten Elemen-

te; und es ist also erwiesen, dafs die Hauptkraft, welche den Mond in seiner Bahn erhält, die im Verhältnisse des Quadrats der Entfernung verminderte Schwere sey. So ist also das Gesez der Verminderung der Schwere, welches für die von mehreren Trabanten begleiteten Planeten durch die Vergleichung ihrer Umläufe und ihrer Entfernungen bewiesen worden ist, für den Mond durch die Vergleichung seiner Bewegung mit der Bewegung geworfener Körper über der Erdfläche erwiesen. Die auf Bergspizen angestellten Pendelbeobachtungen zeigten zwar schon diese Verminderung der Schwere auf der Erde an; aber wegen der in Ansehung des Erdhalbmessers unbeträchtlichen Höhe auch der höchsten Berge waren sie nicht zureichend, um das Gesez davon zu entdecken; ein von uns entferntes Gestirn, wie der Mond, war erforderlich, um dieses Gesez sehr merklich zu machen, und um uns zu überzeugen, dafs die Schwere auf der Erde nur ein besonderer Fall von einer durch das ganze Weltall verbreiteten Kraft ist.

Jede Erscheinung klärt die Naturgeseze mit neuem Lichte auf, und bestättigt sie. So zeigt uns die Vergleichung der Versuche

über die Schwere mit der Mondsbewegung deutlich, daſs man bey der Berechnung der Anziehungskräfte der Sonne und der Planeten den Anfangspunkt der Entfernungen in ihren Schwerpunkt sezen müsse; denn es ist offenbar, daſs dieſs für die Erde Statt hat, deren Anziehungskraft von der nämlichen Natur ist, wie die der Planeten und der Sonne.

Da die Sonne und die von Trabanten begleiteten Planeten mit einer im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen stehenden Anziehungskraft begabt sind, so veranlaſst uns eine starke Analogie, diese Eigenschaft auch auf die übrigen Planeten auszudehnen. Die allen diesen Körpern gemeinschaftliche Kugelgestalt zeigt offenbar, daſs ihre kleinsten Theilchen um ihre Schwerpunkte durch eine Kraft erhalten werden, welche bey gleichen Entfernungen sie gleichförmig gegen diese Punkte zu treibt; aber die folgende Beobachtung läſst in dieser Hinsicht gar keinen Zweifel übrig. Wir haben gesehen, daſs, wenn die Planeten und Kometen in gleicher Entfernung von der Sonne stünden, ihre Gewichte gegen dieses Gestirn ihren Massen proportionirt seyn würden; nun ist es aber ein allgemeines Naturgesez, daſs

ie Gegenwirkung der Wirkung gleich und
ntgegengesezt ist; alle diese Körper wirken
so auf die Sonne zurück, ziehen sie, im Ver-
ältnisse ihrer Massen an, und sind folglich
it einer im geraden Verhältnisse der Massen
id im umgekehrten des Quadrats der Ent-
rnungen stehenden Anziehungskraft begabt.
ermöge des nämlichen Grundsazes ziehen
e Trabanten die Planeten und die Sonne
ch eben dem Geseze an; und diese Anzie-
ngskraft ist folglich allen Himmelskörpern
meinschaftlich. Sie stört die elliptische
wegung eines Planeten um die Sonne nicht,
enn man blos ihre gegenseitige Wirkung
trachtet. In der That ändert sich die rela-
e Bewegung der Körper eines Systems nicht,
nn man ihnen eine gemeinschaftliche Ge-
windigkeit ertheilt. Wenn man daher
r Sonne und dem Planeten die Bewegung
s ersten dieser beyden Körper, und die Ein-
irkung, welche er von dem zweyten er-
hrt, in entgegengesezter Richtung beylegt,
kann die Sonne als unbeweglich betrachtet
erden, aber alsdann wird der Planet durch
ne im geraden Verhältnisse der Summe ih-
r Massen und im umgekehrten des Quadrats
er Entfernung stehende Kraft gegen sie ge-

trieben werden; seine Bewegung um die Sonne wird also elliptisch seyn, und man sieht durch die nämlichen Schlüsse, dafs sie es auch dann noch seyn würde, wenn man annähme das System des Planeten und der Sonne werde mit einer gemeinschaftlichen Bewegung in Weltraume fortgeführt. Auf gleiche Art ist es sichtbar, dafs die elliptische Bewegung eines Trabanten durch die Translationsbewegung seines Planeten nicht gestört wird, und dafs sie auch durch die Einwirkung der Sonne nicht gestört würde, wenn diese Einwirkung auf den Planeten genau so grofs wäre, als auf den Trabanten.

Indessen hat die Wirkung eines Planeten auf die Sonne einen Einfluſs auf die Dauer seines Umlaufs, welche kürzer wird, wenn der Planet gröſser ist, so daſs das Verhältniſs des Quadrats seiner Umlaufszeit zu dem Würfel der grofsen Axe seiner Bahn von seiner Masse abhängt. Da aber dieses Verhältniſs für alle Planeten beynahe das nämliche ist, so müssen ihre Massen in Vergleichung mit der der Sonne sehr klein seyn; und dieſs gilt eben so für die Trabanten in Vergleichung mit ihren Hauptplaneten.

Man darf ausserdem, um sich davon zu überzeugen, nur den Raumsinhalt dieser verschiedenen Körper betrachten.

Die Anziehungskraft der Himmelskörper kommt nicht blos ihren Massen im Ganzen, sondern jedem ihrer kleinsten Theilchen zu. Wenn die Sonne blos auf den Mittelpunkt der Erde wirkte, ohne jeden ihrer Theile besonders anzuziehen, so würden daraus in dem Weltmeere unvergleichbar gröfsere, und von denen, welche man wirklich daselbst beobachtet, sehr verschiedene Schwingungen entstehen. Die Schwere der Erde gegen die Sonne ist also das Resultat der einzelnen Schweren, aller ihrer Theilchen, welche folglich die Sonne im Verhältnisse ihrer respectiven Massen anziehen.

Ueberdiefs ist jeder Körper auf der Erde im Verhältnisse seiner Masse gegen ihren Mittelpunkt schwer; er wirkt also auf sie zurück, und zieht sie nach dem nämlichen Verhältnisse an. Wäre diefs nicht, und zöge irgend ein Theil der Erde, so klein man ihn auch annehmen mag, einen andern Theil nicht so an, wie er von ihm angezogen wird, so müfste sich der Schwerpunkt der Erde,

vermöge der Schwere im Weltraume bewegen, welches unmöglich ist.

Die himmlischen Erscheinungen, verglichen mit den Gesezen der Bewegung, führen uns also auf das grofse Naturgesez, dafs *alle Theilchen der Materie einander, im geraden Verhältnisse der Massen, und im umgekehrten des Quadrats der Erscheinungen, wechselsweise anziehen.*

In dieser allgemeinen Gravitation sieht man schon beyläufig die Ursache der Störungen, welche die Himmelskörper erfahren. Denn da die Planeten und Kometen ihrer Wechselwirkung unterworfen sind, so müssen sie von den Gesezen der elliptischen Bewegung, welchen sie genau folgen würden, wenn sie blos der Einwirkung der Sonne ausgesezt wären, etwas abweichen. Die Trabanten, welche in ihren Bewegungen um ihre Planeten durch ihre wechselseitige Anziehung und durch die der Sonne gestört werden, weichen eben so von diesen Gesezen ab. Man sieht auch, dafs die Theilchen eines jeden Himmelskörpers, die durch ihre Anziehung vereiniget werden, eine beynahe kugelförmige Masse bilden müssen, und dafs das Resultat ihrer Wirkung auf die Oberfläche des Körpers alle

rscheinungen der Schwere daselbst hervor-
ingen müsse. Man sieht ferner, daſs die
mdrehungsbewegung der Himmelskörper
re Kugelgestalt ein wenig ändern, und sie
ıter den Polen abplatten müsse, und daſs
ıerdieſs das Resultat ihrer wechselseitigen
irkungen, da es nicht genau durch ihre
hwerpunkte geht, bey ihren Umdrehungs-
en Bewegungen hervorbringen müsse, die
nen ähnlich sind, welche die Beobachtung
y denselben zu erkennen giebt.

Endlich übersieht man beyläufig, daſs
e von der Sonne und dem Monde mit un-
ıicher Stärke angezogenen Theilchen des
eltmeers eine Schwingungsbewegung, wie
e Ebbe und Fluth des Meeres ist, haben
issen.

Es ist aber nöthig, diese verschiedenen
irkungen des allgemeinen Grundsazes der
hwere weiter zu entwickeln, um ihm alle
e Gewiſsheit zu verschaffen, deren physische
ahrheiten fähig sind.

Zweytes Kapitel.

Von den Massen der Planeten und der Schwer auf ihrer Oberfläche.

Auf den ersten Anblick scheint es unmöglich, die respectiven Massen der Sonne und der Planeten zu bestimmen, und die Höhe zu messen, von welcher die Körper auf ihrer Oberfläche in einer gegebenen Zeit vermöge der Schwere fallen. Aber die Verkettung der Wahrheiten unter einander führt auf Resultate, welche unzugänglich schienen, so lange der Grund, wovon sie abhangen, unbekannt war. So wurde die Messung der Stärke der Schwere auf den Planeten durch die Entdekkung der allgemeinen Gravitation möglich.

Wir wollen nun die im vorigen Buche beygebrachten Lehrsäze von der Centrifugalkraft wieder vornehmen. Es folgt daraus, dafs die Schwere eines Trabanten gegen seinen Planeten zur Schwere der Erde gegen die Sonne sich verhalte, wie der mittlere Halbmesser der Bahn des Trabanten, dividirt durch das Quadrat der Zeit seines siderischen Umlaufs zur mittleren Entfernung der Erde von der Sonne, dividirt durch das Quadrat eines siderischen Jahres, sich verhält. Um diese

:hwere auf die nämliche Entfernung der örper, die sie verursachen, zurückzufüh- n, muſs man sie stückweise durch die Qua- ate der Halbmesser der Bahnen, die vermö- ihrer Einwirkung beschrieben werden, ultipliciren; und da, bey gleichen Entfer- ngen, die Massen ihren Attractionen pro- rtionirt sind, so verhält sich die Masse der de zu der der Sonne wie der Würfel des ittleren Halbmessers der Bahn des Traban- a dividirt durch das Quadrat seiner sideri- ien Umlaufszeit zum Würfel der mittleren ıtfernung der Erde von der Sonne dividirt rch das Quadrat des siderischen Jahrs.

Wir wollen nun dieses Resultat auf den Ju- :er anwenden. Zu dem Ende wollen wir be- :rken, daſs der mittlere Halbmesser der Bahn s vierten Trabanten in der mittleren Entfer- ıng Jupiters von der Sonne einem Winkel n 1530″,86 zugehört. Aus der mittleren Ent- rnung der Erde von der Sonne gesehen wür- : dieser Halbmesser unter einem Winkel von)64,″75 erscheinen, der Halbmesser des Krei- s enthält 636619,″8; folglich sind die mitt- :ren Halbmesser der Bahn des vierten Traban- en und der Erdbahn in dem Verhältnisse die- er zwey lezten Zahlen.

Die siderische Umlaufszeit des vierten Trabanten beträgt 16,6800, und das siderische Jahr 365,2564 Tage. Geht man von diesen Bestimmungsstücken aus, so findet man $\frac{1}{1066,08}$ für die Masse des Jupiters, wenn die der Sonne für die Einheit angenommen wird. Um sie genauer zu erhalten, muſs man den Nenner dieses Bruchs um eine Einheit vermehren, weil die Kraft, welche den Jupiter in seiner relativen Bahn um die Sonne erhält, die Summe der Attractionen der Sonne und des Jupiters ist; die Masse dieses Planeten ist also $\frac{1}{1067,08}$.

Durch das nämliche Verfahren habe ich die Massen des Saturns und des Uranus bestimmt. Auch die der Erde kann auf eben diese Art berechnet werden; aber die nachfolgende Methode ist noch genauer.

Wenn man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne für die Einheit annimmt, so ist der von der Erde in einer Zeitsecunde beschriebene Bogen das Verhältniſs der Peripherie zum Halbmesser dividirt durch die Zahl der Secunden des siderischen Jahrs, oder durch 36525638″,4. Dividirt man das Quadrat dieser

Bogens mit dem Durchmesser, so erhält man $\frac{1479565}{10^{20}}$ für seinen Quersinus; und dieſs ist die Gröſse, um welche die Erde, vermöge ihrer relativen Bewegung um die Sonne, in einer Secunde gegen die leztere fällt. Wir haben im vorigen Kapitel gesehen, daſs unter dem Erdparallel, für welchen das Quadrat des Sinus der Breite $\frac{1}{3}$ ist, die Attraction der Erde die Körper in einer Secunde durch 11,28196 Fuſs zu fallen treibe. Um diese Attraction auf die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne zu bringen, muſs man dieses Product durch die Zahl der Fuſse, welche diese Entfernung enthält, dividiren. Nun ist der Erdhalbmesser unter dem Parallel, welchen wir betrachten, 19614648 Fuſs groſs; dividirt man also diese Zahl mit der Tangente der Sonnenparallaxe oder mit 27″,2, so erhält man den mittleren Halbmesser der Erdbahn in Fuſsen ausgedrückt.

Daraus folgt, daſs die Wirkung der Attraction der Erde in der mittleren Entfernung dieses Planeten von der Sonne dem Producte des Bruchs $\frac{11,28196}{19614648}$ durch den Würfel der Tangente von 27″,2 gleich ist; sie ist also

$\frac{4,486113}{10^{20}}$ gleich. Nimmt man diesen Bruch von $\frac{1479565}{10^{20}}$ weg, so erhält man $\frac{1479560,5}{10^{20}}$ für die Wirkung der Attraction der Sonne in der nämlichen Entfernung. Die Massen der Sonne und der Erde sind also in dem Verhältnisse der Zahlen 1479560,5 und 4,486113; woraus für die Masse der Erde die Gröfse von $\frac{1}{329809}$ folgt. Ist die Sonnenparallaxe von der von uns angenommenen etwas unterschieden, so mufs der Werth von der Masse der Erde sich ändern, wie der Würfel dieser Parallaxe in Vergleichung mit der von 27″,2.

Die folgenden Werthe der Massen der Planeten, die keine Trabanten haben, sind durch die seculären Veränderungen bestimmt worden, welche die Wirkung dieser Körper in den Elementen des Sonnensystems hervorbringt.

Die Massen der Venus und des Mars habe ich aus der seculären Abnahme der Schiefe der Ekliptik, diese zu 154″,3, und aus der Beschleunigung der mittleren Bewegung des Monds, diese für das erste Jahrhundert von 1700 an gerechnet, zu 34″,36 angenommen, hergeleitet.

Merkurs

Merkurs Masse ist durch sein Volumen estimmt worden, unter der Voraussezung, ls die Dichtigkeiten dieses Planeten und der rde im umgekehrten Verhältnisse ihrer mitt-ren Entfernungen von der Sonne stehen, zwar ne sehr willkührliche Voraussezung, die über en respectiven Dichtigkeiten der Erde, des piters und des Saturns sehr genau Genüge ist. Man wird einst alle diese Werthe be-chtigen müssen, wenn man mit der Zeit die culären Veränderungen der Bewegungen und ahnen der Himmelskörper besser wird ken-n gelernt haben.

Die Massen der von Trabanten begleite-n Planeten müssen auch noch durch sehr ge-ue Beobachtungen der gröfsten Elongation r Trabanten von ihren Planeten mit Rück-cht auf die elliptische Gestalt ihrer Bahnen erichtiget werden.

Massen der Planeten,
wenn die der Sonne zur Einheit angenommen wird.

Merkur	$\frac{1}{2025810}$
Venus	$\frac{1}{383137}$

$\frac{4,486113}{10^{20}}$ gleich. Nimm $\frac{1}{329809}$

von $\frac{1479565}{10^{20}}$ weg, $\frac{1}{184608}$

für die Wirkung $\frac{1}{106709}$

der nämlichen I $\frac{1}{335940}$

Sonne und der

nisse der Za

woraus für $\frac{1}{19504}$

$\frac{1}{329800}$

der v

der

E

Dichtigkeiten der Körper verhalten sich wie die Massen, dividirt durch die Volumen, und wenn die Körper beynahe kugelförmig sind, so verhalten sich ihre Volumen wie die Würfel ihrer Halbmesser; folglich verhalten sich alsdann die Dichtigkeiten wie die Massen, dividirt durch die Würfel der Halbmesser. Aber um gröfsere Genauigkeit zu erhalten, mufs man für den Halbmesser eines Planeten denjenigen nehmen, welcher dem Parallel zugehört, für welchen das Quadrat des Sinus der Breite $\frac{1}{3}$ ist, und welcher einem Drittheile von der Summe des Polarhalbmessers und des doppelten Aequatorialhalbmessers gleich ist.

Auf solche Art findet man, daſs, wenn
an die mittlere Dichtigkeit der Sonne zur
inheit annimmt, die der Erde, des Jupi-
r, Saturns und Uranus 3,939331 0,860145
49512; 1,13757 ist. Es ist aber zu bemer-
n, daſs die Fehler in den Messungen der
heinbaren Durchmesser der Planeten, und
r Irradiation, welche wir, wegen der Schwie-
rigkeit, sie zu bestimmen, nicht in Rechnung
bracht haben, einen sehr merklichen Einfluſs
f diese Resultate haben können.

Wir wollen noch bemerken, daſs der
ige Werth der Dichtigkeit der Erde von der
nnenparallaxe unabhängig ist, denn ihre
sse und ihr Volumen, mit denen der Sonne
glichen, wachsen beyde wie der Würfel
ser Parallaxe.

Die Messungen der gröſsten Elongationen
r Trabanten von ihren Planeten, und der
rchmesser der lezteren verdienen besonders
e Aufmerksamkeit der Beobachter, weil da-
n die Kenntniſs der Massen und der Dichtig-
iten der Planeten abhängt. Newton hat
n sehr einfaches Mittel vorgeschlagen, die
heinbaren Durchmesser von der Wirkung der
radiation zu befreyen. Es besteht darin,
laſs man bey Nacht den Schein einer Lampe

durch eine Oeffnung beobachtet, welche we entfernt, und klein genug ist, um nur einen Theil des Lichts sehen zu lassen. Man vermindert die Lebhaftigkeit des Lichts und die Oeffnung so lange, bis die Lampe genau die nämliche Gröfse, und den nämlichen Glanz, wie der Planet, zu haben scheint; alsdann giebt das Verhältnifs der Oeffnung zu ihrer Entfernung von dem Beobachter den Durchmesser dieses Planeten sehr genau. Man könnte auf solche Art auch die Erscheinungen von dem Ringe des Saturns darstellen, und die Abmessungen des innern und äussern Rings bestimmen, welche die Irradiation sehr ungewifs macht.

Um die Gröfse der Schwere auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten zu erhalten, erwägen wir, dafs, wenn Jupiter und die Erde genau kugelförmig, und ohne Umdrehungsbewegung wären, die Schweren unter ihrem Aequator den Massen dieser Körper, dividirt durch die Quadrate ihrer Durchmesser, proportionirt seyn würden. Nun ist in der mittleren Entfernung der Sonne von der Erde Jupiters Aequatorialdurchmesser 626″,26, und der Aequatorialdurchmesser der Erde 54″,5; drückt man also das Gewicht eines Körpers an

dem Erdäquator durch die Einheit aus; so würde das Gewicht dieses Körpers, an den Aequator Jupiters gebracht, 2,509 seyn; man muſs aber, um die Wirkungen der von der Umdrehung dieser Planeten herrührenden Centrifugalkräfte in Anschlag zu bringen, dieses Gewicht ohngefähr um ein Neuntel vermindern. Der nämliche Körper würde an dem Aequator der Sonne 27,65 wiegen, und die schweren Körper durchlaufen daselbst 311 Fuſs in der ersten Secunde ihres Falls.

Drittes Kapitel.

Von den Störungen der elliptischen Bewegung der Planeten.

Wären die Planeten blos der Wirkung der Sonne unterworfen, so würden sie um dieselbige elliptische Bahnen beschreiben; aber sie wirken auch auf einander selbst, und wirken auf gleiche Art auf die Sonne, und aus diesen verschiedenen Attractionen entstehen in ihren elliptischen Bewegungen Störungen, welche die Beobachtungen beyläufig wahrnehmen lassen, und welche nothwendig bestimmt werden müssen, um genaue Tafeln der Be-

die mittleren Bewegungen der Planèten einen Einfluſs haben kann. Vergleicht man die seit der Wiederherstellung der Astronomie gemachten Beobachtungen mit einander, so scheint die Bewegung des Jupiters schneller und die des Saturns langsamer, als nach der Vergleichung eben dieser Beobachtungen mit den älteren. Daraus haben die Astronomen geschlossen, daſs die erste dieser Bewegungen von einem Jahrhunderte zum andern sich beschleunige, während die andere sich vermindere; und um auf diese Veränderungen Rücksicht zu nehmen, haben sie in die Tafeln dieser Planeten zwey seculare Gleichungen, die wie die Quadrate der Zeiten wachsen, eingeführt, wovon die eine zu der Bewegung des Jupiters addirt, die andere von der des Saturn abgezogen werden muſs. Nach Halley ist die seculare Gleichung des Jupiters 106″,02 für das erste Jahrhundert von 1700 an gerechnet und die zugehörige Gleichung des Saturns ist 256″,94. Es war natürlich, die Ursache davon in der gegenseitigen Wirkung dieser zwey beträchtlichsten Planeten unsers Systems zu suchen. Euler, der sich zuerst damit beschäftigte, fand eine Seculargleichung, die für diese beyde Planeten gleich ist, und zu ih

ren mittleren Bewegungen addirt werden muſs, welches den Beobachtungen widerspricht. Lagrange erhielt in der Folge Resultate, die mit ihnen besser übereinstimmen; andere Geometer fanden andere Gleichungen. Gereizt durch diese Verschiedenheiten untersuchte ich diesen Gegenstand von neuem, und wandte die gröſste Sorgfalt auf seine Erörterung, und so gelangte ich zu dem wahren analytischen Ausdrucke der secularen Ungleichheit der mittleren Bewegung der Planeten. Da ich in demselben die Zahlenwerthe für den Jupiter und Saturn an die gehörigen Stellen sezte, sahe ich mit Verwunderung, daſs er auf Null gebracht wurde. Ich vermuthete, daſs dieſs nicht bloſs bey diesen Planeten zutreffen dürfte, und daſs, wenn man diesen Ausdruck auf die einfachste mögliche Form brächte, dadurch, daſs man die verschiedenen darin enthaltenen Gröſsen, vermittelst der zwischen ihnen Statt findenden Verhältnisse, auf die kleinste Zahl zurückführte, alle Glieder desselben einander aufheben dürften. Die Rechnung bestätigte diese Vermuthung, und lehrte mich, daſs überhaupt die mittleren Bewegungen der Planeten, und ihre mittleren Entfernungen von der Sonne unveränderlich sind,

wenigstens wenn man die Biquadrate der Excentricitäten und der Neigungen der Bahne und die Quadrate der störenden Kräfte aus de Acht läfst, was für die jezigen Bedürfnisse d Astronomie mehr als zureichend ist. Lagrange hat seitdem dieses Resultat bestätiget, i dem er durch eine sehr schöne Methode zeigte, dafs es selbst dann Statt finde, wenn ma auf Potenzen und Produote von jeder Ordnung bey den Excentricitäten und Neigungen Rücksicht nimmt.

Folglich hangen die beobachteten Veränderungen in den mittleren Bewegungen des Jupiters und Saturns nicht von ihren secularen Ungleichheiten ab.

Die Beständigkeit der mittleren Bewegungen der Planeten und der grofsen Axen ihrer Bahnen ist eine der merkwürdigsten Erscheinungen des Weltsystems. Alle anderen Elemente der elliptischen Planetenbahnen sind veränderlich; diese Ellipsen nähern sich der Figur des Kreises oder entfernen sich von ihr beydes ganz unmerklich; ihre Neigungen gegen eine unbewegliche Ebene und gegen die Ekliptik wachsen oder nehmen ab; ihre Sonnennähen und ihre Knoten sind in Bewegung Diese durch die gegenseitige Wirkung der Pla

neten verursachte Veränderungen gehen so langsam vor sich, daſs sie mehrere Jahrhunderte hindurch den Zeiten ohngefähr proportionirt sind. Nunmehr haben die Beobachtungen sie bekannt gemacht; wir haben im ersten Buche gesehen, daſs die Sonnennähe der Erdbahn eine jährliche rechtläufige Bewegung von 36″,7 hat, und daſs ihre Neigung gegen den Aequator jährlich um 154″,3 abnimmt. Euler hat zuerst die Ursache dieser Abnahme entwickelt, zu deren Hervorbringung jezt alle Planeten durch die respective Lage der Ebenen ihrer Bahnen zusammenwirken. Die alten Beobachtungen sind nicht genau genug, und die neueren sind einander zu nahe, als daſs man darnach die Gröſsen dieser beträchtlichen Veränderungen bestimmen könnte; indessen stimmen sie darin überein, ihr Daseyn zu beweisen, und zu zeigen, daſs ihr Gang derselbige ist, wie er aus der Theorie der Schwere folgt. Man könnte also vermittelst dieser Theorie den Beobachtungen vorgreifen, und die wahren Werthe der seculären Ungleichheiten der Planeten angeben, wenn ihre Massen genau bekannt wären. Aber wir kennen bis jezt nur die Massen der von Trabanten begleiteten Planeten; die andern werden nicht eher

genau bestimmt werden, als bis die Folge der Zeit diese Ungleichheiten zureichend entwickelt haben wird, um die Gröfse dieser Massen mit Genauigkeit daraus zu schliefsen. Alsdann erst wird man in Gedanken zu den Veränderungen zurückgehen können, welche das Planetensystem nach einander erfahren hat; man wird diejenigen voraussehen können, welche künftige Jahrhunderte den Beobachtern darbieten werden, und der Geometer wird in seinen Formeln alle vergangenen und künftigen Zustände dieses Systems mit einem Blicke umfassen. Die im fünften Kapitel des zweyten Buchs aufgestellte Tafel enthält die seculären Veränderungen, welche aus den den Planeten vorläufig ertheilten Massen sich ergeben.

Hier bieten sich nun mehrere erhebliche Fragen dar. Sind die elliptischen Planetenbahnen immer ohngefähr kreisförmig gewesen, und werden sie es immer seyn? Sind nicht einige Planeten ursprünglich Kometen gewesen, deren Bahnen, vermöge der Attraction der andern Planeten, sich nach und nach dem Kreise genähert haben? Wird die Abnahme der Schiefe der Ekliptik so lange fortfahren, bis die Ekliptik mit dem Aequator zusammen-

Ilt, welches eine beständige Gleichheit der age und Nächte auf der ganzen Erde zur olge haben würde?

Die Analysis beantwortet diese Fragen auf ine befriedigende Art. Mir ist es gelungen u beweisen, dafs, wie gröfs immer die Masen der Planeten seyn mögen, schon vermöge des einzigen Umstands, dafs sie alle nach einerley Richtung, und in wenig excentrischen und gegen einander wenig geneigten Bahnen sich bewegen, ihre secularen Ungleichheiten periodisch und in geraden Grenzen eingeschlossen sind, so dafs das Planetensystem blos um einen gewissen mittleren Zustand Schwingungen macht, wovon es sich nie weiter als um eine sehr geringe Gröfse entfernt. Die elliptischen Planetenbahnen sind also immer beynahe kreisförmig gewesen, und werden es immer seyn; woraus folgt, dafs kein Planet ursprünglich ein Komet gewesen ist, wenigstens wenn man blofs auf die gegenseitige Wirkung der Körper des Planetensystems Rücksicht nimmt. Die Ekliptik wird auch nie mit dem Aequator zusammenfallen, und die ganze Gröfse der Veränderungen ihrer Neigung kann zwey Grade nicht übersteigen.

Die Bewegungen der Planetenbahnen un[illegible]l
Fixsterne werden einst den Astronomen z[illegible]u
ffen machen, wenn sie genaue Beobach[illegible]n-
gen, die durch lange Zwischenzeiten g[illegible]e-
nnt sind, zu vergleichen suchen werde[illegible]n.
iese Schwierigkeit fängt bereits an merkl[illegible]ch
u werden; es ist also von Wichtigkeit, m[illegible]it-
en unter allen diesen Veränderungen eine un-
veränderliche Ebene wieder finden zu können.
Es giebt eine solche, die diese merkwürdige
Eigenschaft besizt, und auf welche es eben so
natürlich ist, die Planetenbahnen zu beziehen,
als die Bewegung eines Systems von Körpern
auf den Schwerpunkt desselben. Diese Ebene
kann durch die folgende Regel leicht bestimmt
werden.

Wenn man für einen beliebigen Augen-
blick auf einer Ebene, die durch der Sonne
Mittelpunkt geht, an die aufsteigenden Knoten
der auf die leztere Ebene bezogenen Planeten-
bahnen gerade Linien zieht, und auf diesen,
vom Mittelpunkte der Sonne an gerechnet,
Stücke nimmt, welche den Tangenten der
Neigungen der Bahnen gegen diese Ebene
gleich sind; wenn man ferner an die End-
punkte dieser Linien Massen sezt, die den
Massen der Planeten, durch die Quadratwur-

zeln der Parameter der Bahnen und durch die Cosinus ihrer Neigungen stückweise multiplicirt, proportionirt sind; wenn man endlich den Schwerpunkt dieses neuen Systems von Massen bestimmt: so wird die aus der Sonne Mittelpunkte an diesen Punkt gehende gerade Linie die Tangente der Neigung der unveränderlichen Ebene gegen die gegebene Ebene seyn; und wenn man sie über diesen Punkt hinaus bis an den Himmel verlängert, so wird sie daselbst die Lage ihres aufsteigenden Knotens bezeichnen.

Wie auch immer die Veränderungen beschaffen seyn mögen, welche die Folge der Jahrhunderte in den Planetenbahnen herbeyführt, und auf was für eine Ebene man sie immer beziehen mag; so wird die nach dieser Regel bestimmte Ebene immer die nämliche seyn. Ihre Lage hängt in der That von den Massen der Planeten ab; aber die von Trabanten begleiteten haben auf diese Lage den meisten Einfluss, und die Massen der übrigen Planeten werden bald hinlänglich bekannt werden, um sie mit Genauigkeit vestzusezen. Nimmt man die obigen Werthe der Massen der Planeten, und die der Elemente ihrer Bahnen an, welche die im fünften Kapitel des

weyten Buchs befindliche Tafel enthält, so findet man, dafs, für den Anfang des Jahrs 1750, die Länge des aufsteigenden Knoten der unveränderlichen Ebene 114°,4383 und ihre Neigung gegen die Ekliptik 1°,7691 war.

Wir nehmen hier auf die Kometen keine Rücksicht, die indessen, da sie einen Theil des Sonnensystems ausmachen, zur Bestimmung dieser unveränderlichen Ebene beygezogen werden müssen. Es würde leicht seyn, nach der obigen Regel auf sie Rücksicht zu nehmen, wenn ihre Massen und die Elemente ihrer Bahnen bekannt wären. Aber bey der Unwissenheit, worin wir uns in Ansehung dieser Gegenstände befinden, sezen wir die Massen der Kometen klein genug, dafs ihre Wirkung auf das Planetensystem unmerklich wird; und dieſs hat viel Wahrscheinlichkeit, weil die Theorie der wechselseitigen Attraction der Planeten zureicht, um alle beobachteten Ungleichheiten ihrer Bewegungen darzustellen. Wenn übrigens die Wirkung der Kometen auf die Länge merklich wird, so mufs sie vorzüglich die Lage der Ebene ändern, die wir für unveränderlich annehmen, und unter diesem neuen Gesichtspunkte wird die Betrachtung dieser Ebene auch dann noch nüzlich seyn,

seyn, wenn man zur Kenntniſs ihrer Veränderungen gelangt, welches groſse Schwierigkeiten haben wird.

Die auf das Gesez der allgemeinen Schwere gegründete Theorie der secularen und periodischen Ungleichheiten der Bewegung der Planeten hat den astronomischen Tafeln eine Genauigkeit gegeben, welche die Richtigkeit und den Nutzen dieser Theorie erprobt. Durch ihre Hülfe haben die Sonnentafeln, die zum wenigsten nur zwey Minuten von den Beobachtungen abwichen, die Genauigkeit der Beobachtungen selbst erlangt. Diese Ungleichheiten sind besonders bey den Bewegungen des Jupiters und Saturns merklich, und sie zeigen sich daher unter einer so verwickelten Gestalt, und die Dauer ihrer Perioden ist so beträchtlich, daſs mehrere Jahrhunderte erforderlich waren, um die Geseze derselben nach bloſsen Beobachtungen zu bestimmen, welchen es diesfalls die Theorie zuvorgethan hat.

Nachdem ich die Unveränderlichkeit der mittleren Bewegungen der Planeten erkannt hatte, so vermuthete ich, die beobachteten Veränderungen in den mittleren Bewegungen des Jupiters und Saturns dürften von der Wirkung der Kometen herrühren. Lalande hatte

bey der Bewegung des Saturns Ungleichheiten bemerkt, die nicht von der Wirkung des Jupiters abzuhangen schienen; er fand ihre Rückkehr zur Frühlingsnachtgleiche in diesem Jahrhunderte schneller, als die zur Herbstnachtgleiche, ungeachtet die Lagen des Jupiters und Saturns sowohl unter einander als in Ansehung ihrer Sonnennähen ohngefähr die nämlichen waren. Lambert hatte noch bemerkt, dafs die mittlere Bewegung des Saturns, die von einem Jahrhunderte zum andern vermindert zu werden schien, wenn er neuere Beobachtungen mit älteren verglich; im Gegentheile, bey der Vergleichung der neueren Beobachtungen unter einander, beschleuniget zu werden schien, während die mittlere Bewegung des Jupiters die entgegengesezten Erscheinungen zeigte. Dieſs alles machte geneigt zu glauben, dafs von der Wirkung des Jupiters und Saturns unabhängige Ursachen ihre Bewegungen geändert hätten.

Als ich aber weiter darüber nachdachte, schien mir der Gang der beobachteten Veränderungen in den mittleren Bewegungen dieser beyden Planeten mit ihrer gegenseitigen Attraction so wohl übereinzustimmen, dafs ich keinen Anstand nahm, die Hypothese von jeder fremden Einwirkung zu verwerfen.

Das ist ein merkwürdiges Resultat der gegenseitigen Wirkung der Planeten, dafs, wenn man blos auf die Ungleichheiten von sehr langen Perioden sieht, die Summe der Massen aller Planeten, wenn sie stückweise durch die grofsen Axen ihrer Bahnen dividirt werden, immer sehr nahe beständig ist. Daraus folgt, dafs, da die Quadrate der mittleren Bewegungen den Würfeln dieser Axen umgekehrt proportionirt sind, wenn die Bewegung des Saturns durch Jupiters Wirkung aufgehalten wird, die des Jupiters durch Saturns Wirkung beschleuniget werden müsse, und dieſs ist den Beobachtungen gemäfs.

Ich sahe überdieſs, dafs das Verhältnifs dieser Veränderungen das nämliche war, wie nach dem vorigen Saze. Sezt man mit Halley die Verminderung der Bewegung des Saturns für das erste Jahrhundert von 1700 an gerechnet, auf 256,″94, so wäre die zugehörige Beschleunigung des Jupiters 109,″80, und Halley hatte durch die Beobachtungen 106,″02 gefunden. Es war also sehr wahrscheinlich, dafs die beobachteten Veränderungen in den mittleren Bewegungen des Jupiters und Saturns eine Folge ihrer wechselseitigen Einwirkung seyen. Und da es gewifs

ist, dafs diese Wirkung in denselben keine Ungleichheiten, weder beständig zunehmende noch periodische, hervorbringen kann, die eine Periode hielten, welche von der Stellung dieser Planeten unabhängig wäre, und dafs sie in denselben keine andere Ungleichheiten hervorbringt, als solche, die sich auf diese Stellung beziehen; so war es natürlich zu denken, dafs in ihrer Theorie eine beträchtliche Ungleichheit dieser Art vorhanden sey, deren Periode sehr lange ist, und aus welcher diese Veränderungen entstehen.

Die Ungleichheiten dieser Art vermehren sich, ob sie schon in den Differentialgleichungen sehr klein, und beynahe unmerklich sind, durch die Integrationen beträchtlich, und können in dem Ausdrucke der Länge der Planeten grofse Werthe erhalten. Es war mir leicht, das Daseyn ähnlicher Ungleichheiten in den Differentialgleichungen der Bewegungen des Jupiters und Saturns zu erkennen. Diese Bewegungen sind sehr nahe commensurabel, und die mittlere Bewegung des Saturns fünfmal genommen, ist dem Doppelten von der des Jupiters sehr nahe gleich. Daraus schlofs ich, dafs die Stücke, welche zum Argument haben das Fünffache der mittleren

änge des Saturns weniger dem Doppelten
on der des Jupiters, durch die Integrationen
ehr merklich werden könnten, ohngeachtet
ie durch die Würfel und Producte von
rey Dimensionen der Excentricitäten und
er Neigungen der Bahnen multiplicirt wären.
ch betrachtete folglich diese Stücke als eine
ehr wahrscheinliche Ursache der beobachteten
'eränderungen in den mittleren Bewegungen
ieser Planeten. Die Wahrscheinlichkeit die-
er Sache, und die Wichtigkeit des Gegen-
tandes bestimmten mich, die mühsame Be-
echnung vorzunehmen, die nöthig war, um
ich davon zu versichern. Das Resultat die-
er Berechnung bestätigte gänzlich meine Ver-
uthung, indem es mir zeigte, 1) dafs in
er Theorie des Saturns eine grofse Ungleich-
eit vorhanden sey, die in ihrem Maximum
024,″7 beträgt, und eine Periode von 917¾
ahren hat. 2) Dafs die Bewegung des Ju-
iters einer übereinstimmenden Ungleichheit
nterworfen sey, deren Gesez und Periode
ie nämlichen sind, die aber, da sie ein ent-
egengeseztes Zeichen führt, sich nicht höher
s auf 3856,″5 beläuft.

Auf diese zwey zuvor unbekannte Un-
eichheiten mufs man die scheinbare Ver-

minderung der Bewegung des Saturns und die scheinbare Beschleunigung von der des Jupiters beziehen. Diese Erscheinungen hatten um das Jahr 1560 ihr Maximum erreicht; seit dieser Epoche haben sich die scheinbaren mittleren Bewegungen dieser zwey Planeten ihren wahren mittleren Bewegungen genähert, und im Jahr 1790 sind sie ihnen gerade gleich gewesen. Nun sieht man also, warum Halley, da er die neueren Beobachtungen mit den älteren verglich, die mittlere Bewegung des Saturns langsamer, und die des Jupiters schneller fand, als durch die Vergleichung der neueren Beobachtungen unter sich, da im Gegentheil die lezteren Lamberten eine Beschleunigung in der Bewegung des Saturns und eine Verminderung in der des Jupiters zeigten; und es ist merkwürdig, dafs die durch Halley und Lambert aus den blofsen Beobachtungen hergeleiteten Gröfsen dieser Erscheinungen sehr nahe dieselbigen sind, die sich aus den zwey eben erwähnten grofsen Ungleichheiten ergeben. Wäre die Astronomie um vier und ein halbes Jahrhundert später wieder hergestellt worden, so würden die Beobachtungen entgegengesezte Erscheinungen gezeigt haben.

die mittleren Bewegungen, welche die Astronomie eines Volks dem Jupiter und Saturn nweiset, können uns also über die Zeit, da ie gestiftet worden ist, belehren. Auf solhe Art findet man, dafs die Indier die mittleren Bewegungen dieser Planeten in dem Theile der Periode der vorerwähnten Ungleichheiten bestimmt haben, wo die mittlere Bewegung des Saturns am langsamsten, und die des Jupiters am schnellsten war. Zwey hrer vornehmsten astronomischen Epochen, wovon die eine bis in das Jahr 3102 vor dem Anfange der christlichen Zeitrechnung zurückfällt, die andere aber auf das Jahr 1491 sich ezieht, erfüllen ohngefähr diese Bedingung.

Das beynahe commensurable Verhältnifs der Bewegungen des Jupiters und Saturns verursacht noch andere sehr merkliche Ungleichheiten. Die beträchtlichste fällt auf die Bewegung des Saturns. Sie würde sich mit der Mittelpunktsgleichung vermischen, wenn das Doppelte der mittleren Bewegung des Jupiters dem Fünffachen von der des Saturns genau gleich wäre. Von ihr rührt auch grostentheils der in diesem Jahrhunderte beobachtete Unterschied zwischen den Zeiten der Rückkunft des Saturns zur Frühlings- und

Herbstnachtgleiche her. Ueberhaupt sahe ich, nachdem ich diese verschiedenen Ungleichheiten erkannt, und diejenigen, die schon vorher der Berechnung unterworfen worden waren, sorgfältiger, als zuvor geschehen war, bestimmt hatte, dafs alle beobachteten Erscheinungen in der Bewegung dieser zwey Planeten sich von selbst nach der Theorie bequemen, und da sie zuvor eine Ausnahme von dem Geseze der allgemeinen Schwere zu machen schienen, so sind sie nun zu einem der auffallendsten Beweise davon geworden.

Ich kann mir hier nicht verbieten, diese wirklichen Folgen des Verhältnisses, welches zwischen den mittleren Bewegungen des Jupiters und Saturns Statt findet, mit denen zu vergleichen, welche die Astrologie ihm beygelegt hat.

Wenn die Zusammenkunft zweyer Planeten in den ersten Punkt des Widders fällt, so fällt sie, vermöge dieses Verhältnisses, ohngefähr zwanzig Jahre nachher in das Zeichen des Schüzen, und abermal nach zwanzig Jahren in das Zeichen des Löwen. So fährt sie an zweyhundert Jahre lang fort, in diesen drey Zeichen zu erfolgen; hierauf durch-

nft sie auf die nämliche Art in den folgenen zweyhundert Jahren die drey Zeichen des tiers, des Steinbocks und der Jungfrau; eben o braucht sie zwey Jahrhunderte, um die Zeichen der Zwillinge, des Wassermanns und er Wage zu durchlaufen; endlich durchläuft ie in den zwey folgenden Jahrhunderten die Zeichen des Krebses, der Fische und des Scorions, und fängt nachher in dem Zeichen des Widders wieder von vorne an. Hieraus läfst ich ein grofses Jahr zusammensezen, in welhem jede Jahrszeit zwey Jahrhunderte lang st. Man legte diesen verschiedenen Jahrszeiten, so wie den Zeichen, die ihnen zugehören, eine verschiedene Temperatur bey. rey dieser Zeichen zusammen nannte man in *Trigon*. Das erste Trigon war das des euers, das zweyte das der Erde, das dritte as der Luft, und das vierte das des Wassers. Man begreift leicht, dafs die Astrologie von iesen Trigonen einen wichtigen Gebrauch achen mufste, welche selbst Kepler in ehreren seiner Werke sehr umständlich erutert hat *).

*) Man sehe z. B. Epit. Astr. Copern. p. 855. Ed. Francof. 1635. und vergleiche Maestlini Epit. Astron. p. 113. Ed. Heidelb. 1582.

Merkwürdig ist es aber, dafs die verbesserte Astronomie, indem sie diesem eingebildeten Einflusse des Verhältnisses zwischen den mittleren Bewegungen des Jupiters und Saturns ein Ende machte, in diesem Verhältnisse die Quelle der gröfsten Störungen des Planetensystems entdeckt hat.

Der Planet Uranus, ob er schon erst neuerlich entdeckt worden ist, zeigt schon unwiderlegliche Merkmale von Störungen, die er durch die Wirkung des Jupiters und Saturns erleidet. Die Geseze der elliptischen Bewegung thun seinen beobachteten Lagen nicht vollkommen Genüge, und um sie darzustellen, mufs man auf seine Störungen Rücksicht nehmen. Die Theorie derselben sezt ihn durch eine sehr merkwürdige Uebereinstimmung in den Jahren 1769, 1756 und 1690 in die nämlichen Punkte des Himmels, wo le Monnier, Mayer und Flamsteed die Lage von drey Fixsternen, die man heutzutage nicht mehr findet, bestimmt hatten, welches über die Identität dieser Sterne mit dem neuen Planeten keinen Zweifel übrig läfst.

Viertes Kapitel.

Von den Störungen der elliptischen Bewegung der Kometen.

Die Wirkung der Planeten verursacht in der Bewegung der Kometen Ungleichheiten, die hauptsächlich an den Zeiten ihrer Zurückkunft zur Sonnennähe merklich sind. Nachdem Halley bemerkt hatte, dafs die Elemente der Bahnen der in den Jahren 1531, 1607 und 1682 beobachteten Kometen sehr nahe die nämlichen wären, so schlofs er daraus, dafs sie dem nämlichen Kometen zugehörten, welcher in Zeit von 151 Jahren zwey Umläufe gemacht hätte. In der That war die Umlaufszeit von 1531 bis 1607 um dreyzehn Monate länger als die von 1607 bis 1682; aber dieser grofse Astronome glaubte mit Grund, die Attraction der Planeten, und hauptsächlich die des Jupiters und Saturns habe diesen Unterschied veranlassen können; und nach einer beyläufigen Schäzung dieser Wirkung im Verlaufe der folgenden Periode urtheilte er, dafs sie die nächste Zurückkunft des Kometen verzögern müfste, und sezte sie auf das Ende des Jahrs 1758 oder den Anfang von 1759. Diese Ankündigung war an sich

selbst zu wichtig, und mit der Theorie der allgemeinen Schwere, deren Anwendungen zu erweitern die Geometer um die Mitte dieses Jahrhunderts beflissen waren, zu innig verbunden, um nicht die Neugierde aller derer zu erwecken, welche an dem Fortgange der Wissenschaften Antheil nahmen. Vom Jahre 1757 an suchten die Astronomen diesen Kometen, und Clairaut, der einer von den ersten war, welche die Aufgabe von drey Körpern aufgelöset hatten, wandte seine Auflösung auf die Bestimmung der Ungleichheiten an, welche die Wirkung des Jupiters und Saturns im Laufe des Planeten hervorgebracht hatte. Den 14ten November 1758 kündigte er der Akademie der Wissenschaften an, dafs die Zeit der Zurückkunft des Kometen zu seiner Sonnennähe in der gegenwärtigen Periode 618 Tage länger als in der vorigen wäre, und dafs folglich der Komet um die Mitte des Aprils 1759 zu seiner Sonnennähe kommen würde. Er bemerkte zugleich, dafs die kleinen Gröfsen, die er bey seinen Näherungen aus der Acht gelassen hatte, dieses Ziel um einen Monat vorrükken oder zurücksezen könnten, und sezte noch überdiefs die Anmerkung hinzu: „ein

„Körper, der so weit entfernte Gegenden „durchläuft, und unsern Augen so lange Zeit „verborgen bleibt, könnte wohl ganz unbe„kannten Kräften unterworfen seyn, dergleichen die Wirkung der andern Kometen oder „selbst eines Planeten wäre; der beständig „eine zu grosse Entfernung von der Sonne „hätte, um jemals beobachtet werden zu kön„nen.“ Der Geometer erhielt die Genugthuung, seine Vorhersagung erfüllt zu sehen. Der Komet kam in die Sonnennähe den 12ten Merz 1759, innerhalb der Grenzen der Fehler, deren er sein Resultat fähig glaubte. Nach einer neuen Durchsicht seiner Rechnungen sezte Clairaut in der Folge diese Ankunft auf den 4ten April, und er würde sie bis auf den 25ten Merz zurückgesezt, also nur um dreyzehn Tage von der Beobachtung unterschieden angegeben haben, wenn er die im zweyten Kapitel angegebene Masse des Saturns gebraucht hätte. Dieser Unterschied wird sehr klein erscheinen, wenn man die grosse Anzahl der aus der Acht gelassenen Grössen und den Einfluss betrachtet, den der Planet Uranus haben konnte, dessen Daseyn dem Zeitalter Clairaut's noch unbekannt war.

Wir bemerken zum Vortheile der Fortschritte des menschlichen Geistes, dafs dieser Komet, der in diesem Jahrhunderte die lebhafteste Theilnehmung unter den Geometern und Astronomen erweckt hat, um vier Umläufe früher, im Jahre 1456 auf eine ganz andere Art gesehen worden war. Der lange Schweif, den er nach sich zog, verbreitete Schrecken über Europa, das ohnehin schon über die reissenden Fortschritte der Türken bestürzt war, die so eben dem griechischen Kaiserthume ein Ende gemacht hatten. Der Pabst Calixtus verordnete aus dieser Veranlassung ein Gebet um Abwendung des Kometen und der Türken. In diesen Zeiten der Unwissenheit war man weit von dem Gedanken entfernt, dafs das einzige Mittel, die Natur kennen zu lernen, darin besteht, sie durch Beobachtung und Rechnung zu fragen. Je nachdem die Erscheinungen regelmäfsig, oder ohne scheinbare Ordnung sich zeigten, und auf einander folgten, liefs man sie von Endursachen oder vom Zufalle abhangen, und wenn sie etwas ausserordentliches zeigten, und der natürlichen Ordnung zuwider zu laufen schienen, so betrachtete man sie als eben so viele Zeichen des göttlichen Zorns. Aber

diese eingebildeten Ursachen sind allmählig mit den Schranken unserer Kenntnisse entfernt worden, und verschwinden vollends vor der gesunden Philosophie, die in ihnen nur den Ausdruck der Unwissenheit sieht, worin wir in Ansehung der wahren Ursachen uns befinden.

Auf die Schrecknisse, welche die Erscheinung der Kometen damals mit sich führte, folgte die Furcht, es möchte von der grofsen Anzahl derer, die das Planetensystem nach allen Richtungen durchschneiden, einer die Erde über den Haufen werfen. Sie gehen so schnell an uns vorbey, dafs die Wirkungen ihrer Attraction gar nicht zu bezweifeln sind. Nur durch einen der Erde beygebrachten Stofs können sie traurige Verheerungen auf derselben anrichten. Aber ein solcher Stofs, ob er schon möglich ist, ist doch im Verlaufe eines Jahrhunderts so wenig wahrscheinlich. Es wäre ein so ausserordentlicher Zufall erforderlich, um ein Zusammenstofsen zweyer, in Ansehung der Unermefslichkeit des Raums, worin sie sich bewegen, so kleinen Körper zu veranlassen, dafs man in dieser Hinsicht keine Furcht für vernünftig halten kann. Indessen kann die geringe Wahrscheinlichkeit

eines solchen Zusammenstoſsens, wenn sie viele Jahrhunderte hindurch sich anhäuft, sehr groſs werden. Es ist leicht, die Wirkungen eines solchen Stoſses auf die Erde sich vorzustellen. Veränderung der Axe und der Umdrehungsbewegung der Erde, Austreten der Meere aus ihren vorigen Beeten, um sich gegen den neuen Aequator hin zu stürzen, Ersäufung eines groſsen Theils der Menschen und Thiere in dieser allgemeinen Ueberschwemmung oder Zerstörung derselben durch die der Erdkugel beygebrachte gewaltsame Erschütterung, Vernichtung ganzer Gattungen, Zertrümmerung aller Denkmäler des menschlichen Kunstfleiſses, dieſs ist die Reihe der Unglücksfälle, die der Stoſs eines Kometen verurachen müſste.

Man sieht alsdann, warum das Weltmeer die hohen Berge wieder bedeckte, auf welchen es unwiderlegbare Merkmale seiner Anwesenheit zurückgelassen hat; man sieht, warum die Thiere und Pflanzen der mittäglichen Gegenden in den nördlichen Klimaten vorhanden seyn konnten, wo man noch ihren Nachlaſs und ihre Abdrücke antrifft; endlich erklärt man daraus die Neuheit der moralischen Welt, deren Denkmäler nicht leicht über dreytausend

send Jahre hinaufsteigen. Das Menschengeschlecht, auf eine sehr kleine Anzahl von Individuen herunter gebracht, und in den kläglichsten Zustand versezt, war sehr lange Zeit einzig mit der Sorge für seine Erhaltung beschäftigt, und mufste das Andenken an Wissenschaften und Künste gänzlich verlieren; und wenn die Fortschritte der Verfeinerung das Bedürfnifs derselben aufs neue fühlbar machten, so mufste es in allem wieder von vorne anfangen, als ob die Menschen ganz neuerlich auf die Erde wären versezt worden.

Wie es sich nun auch mit dieser von einigen Philosophen angegebenen Ursache von diesen Erscheinungen verhalten mag, so wiederhole ich die Versicherung, dafs man während der kurzen Lebenszeit wegen einer so furchtbaren Begebenheit vollkommen beruhiget seyn dürfe. Aber der Mensch ist so empfänglich für den Eindruck der Furcht, dafs man im Jahre 1773 über der einfachen Ankündigung einer Abhandlung, worin Lalande diejenigen von den beobachteten Kometen bestimmte, welche der Erde am nächsten kommen könnten, den lebhaftesten Schrecken sich in Paris verbreiten, und von da dem übrigen Frankreich mittheilen sahe. So wahr ist es,

dafs Irrthümer, Aberglauben, grundlose Schrecknisse und alle Uebel, welche die Unwissenheit mit sich führt, sich geschwind wieder einstellen würden, wenn das Licht der Wissenschaften verlöschte.

Fünftes Kapitel.

Von den Störungen der Bewegung des Monds.

Der Mond wird zugleich von der Sonne und der Erde angezogen, aber seine Bewegung um die Erde wird nur durch den Unterschied der Wirkungen der Sonne auf diese beyden Körper gestört. Wäre die Sonne unendlich entfernt, so wirkte sie auf beyde auf gleiche Art und nach parallelen Richtungen; ihre relative Bewegung würde also durch diese beyden gemeinschaftliche Wirkung nicht gestört. Aber ihre Entfernung kann, ungeachtet sie in Vergleichung mit der des Monds sehr grofs ist, doch nicht für unendlich angenommen werden. Der Mond ist wechselsweise näher bey der Sonne oder weiter von ihr entfernt, als die Erde, und die gerade Linie, die seinen Mittelpunkt mit dem der Sonne verbin-

et, macht mit dem Radius Vector der Erde mehr oder minder stumpfe Winkel. Die Sonne wirkt also auf ungleiche Art, und nach verschiedenen Richtungen auf die Erde und den Mond; und aus dieser Verschiedenheit der Wirkungen müssen in der Bewegung des Monds Ungleichheiten entstehen, die von den respectiven Stellungen des Monds und der Sonne abhangen. Um sie zu bestimmen, muss man zugleich die Wechselwirkung und die Bewegungen der drey Körper, der Sonne, der Erde und des Monds, betrachten. Eben darin besteht die berühmte Aufgabe von drey Körpern, deren strenge Auflösung die Kräfte der Analysis übersteigt, die aber die Nähe des Monds in Vergleichung mit seinem Abstande von der Sonne, und die geringe Ausdehnung seiner Masse in Vergleichung mit der der Erde, durch Näherung aufzulösen verstatten. Indessen ist die feinste Analysis nöthig, um dabey alle Stücke auszusondern, deren Einfluss merklich ist; wovon die ersten in dieser Analyse gemachten Schritte einen Beweis abgeben.

Euler, Clairaut und Dalembert, welche zuerst und beynahe zu gleicher Zeit, die Aufgabe von drey Körpern auflöseten,

fanden übereinstimmend durch die Theorie der Schwere die Bewegung der Erdnähe des Monds um die Hälfte kleiner, als nach den Beobachtungen. Clairaut schloſs daraus, daſs das Gesez der Attraction nicht so einfach sey, als man bisher geglaubt habe, und daſs es aus zwey Theilen zusammengesezt sey, deren erster dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionirt, und in groſsen Entfernungen der Planeten von der Sonne allein merklich sey; der zweyte aber bey abnehmender Entfernung in einem gröſseren Verhältnisse wachse, und in der Entfernung des Monds von der Erde merklich werde. Diese Folgerung wurde von Buffon lebhaft angegriffen, der sich darauf stüzte, daſs die ursprünglichen Naturgeseze, als die einfachsten, nur von *einer* Form (module) abhangen könnten, und ihr Ausdruck nicht mehr als *ein* Glied enthalten könnte. Diese Betrachtung muſs uns ohne Zweifel leiten, das Gesez der Attraction nicht anders, als im äussersten Nothfalle, verwickelt zu machen; aber die Unwissenheit, worin wir uns in Ansehung der Natur dieser Kraft befinden, verstattet uns nicht, über die Einfachheit ihres Ausdrucks etwas mit Sicherheit zu entscheiden.

Wie dem auch sey, so hatte diesmal der Metaphysiker, dem Geometer gegenüber, Recht, welcher seinen Irrthum selbst erkannte, und die wichtige Bemerkung machte, dass, wenn man die Näherung weiter treibt, das Gesez der im umgekehrten Verhältnisse mit dem Quadrate der Entfernungen stehenden Schwere die Bewegung der Erdnähe des Monds genau übereinstimmend mit den Beobachtungen gebe, und dieſs ist seitdem durch alle, welche sich mit diesem Gegenstande beschäftigten, bestättiget worden. Es ist nicht möglich, ohne Hülfe der Analysis die Verhältnisse aller Ungleichheiten der Bewegung des Monds zur vereinigten Wirkung der Sonne und der Erde auf diesen Trabanten bemerklich zu machen.

Wir bemerken nur, dass die Theorie der allgemeinen Schwere nicht blos die Bewegungen des Knoten und der Erdnähe der Mondsbahn, wie auch die drey grosen Ungleichheiten, die man mit den Namen der *Variation*, der *Evection* und der *Jahrsgleichung* bezeichnet hat, und welche die Astronomen schon zuvor erkannt hatten, erklärt, sondern deren noch eine grosse Anzahl anderer, minder beträchtlicher bekannt gemacht habe, wel-

che durch bloſse Beobachtungen zu entdecken und vestzusezen beynahe unmöglich gewesen wäre. Je mehr diese Theorie vervollkommnet wurde, desto mehr Genauigkeit erhielten die Mondstafeln, und dieses ehemals so unbändige Gestirn weicht jezt nur noch sehr wenig davon ab. Aber um ihnen die Genauigkeit zu geben, die ihnen noch fehlt, werden zum wenigsten eben so ausgedehnte Untersuchungen nöthig seyn, als die sind, die man schon angestellt hat; denn in allen Dingen sind die lezten Schritte zur Vollkommenheit die schwersten.

Indessen kann man ohne die Analysis von der Jahrsgleichung des Monds und von seiner secularen Gleichung keine Rechenschaft geben. Ich werde mich um desto lieber bey der Auseinandersezung der Ursachen dieser Gleichungen verweilen, da man die gröſsten Ungleichheiten des Monds, welche die Folge der Jahrhunderte den Beobachtern entdecken muſs, und die bis jezt beynahe unmerklich sind, daraus wird entstehen sehen.

Bey seinen Zusammenkünften mit der Sonne ist der Mond ihr näher, als die Erde, und leidet eine beträchtliche Einwirkung von ihr. Der Unterschied der Attractionen der

der Mondsbahn dividirt durch den Würfel der Entfernung der Sonne von der Erde, gleich ist.

Um das Verhältnifs dieses Products zu der Schwere des Monds zu erhalten, wollen wir bemerken, dafs diese Schwere, die ihn in seiner Bahn erhält, der Summe der Massen der Erde und des Monds, dividirt durch das Quadrat ihrer Entfernung von einander, die Kraft aber, welche die Erde in ihrer Bahn erhält, der Masse der Sonne, dividirt durch das Quadrat ihres Abstands von der Erde, sehr nahe gleich ist. Nach der im zweyten Buche beygebrachten Theorie der Centralkräfte verhalten sich diese zwey Kräfte, wie die Halbmesser der Bahnen der Sonne und des Monds stückweise dividirt durch die Quadrate der Umlaufszeiten dieser Gestirne; folglich verhält sich das vorige Product zur Schwere des Monds wie das Quadrat der siderischen Umlaufszeit des Monds zum Quadrate der siderischen Umlaufszeit der Erde; dieses Product beträgt also sehr nahe $\frac{1}{179}$ der Schwere des Monds, welche also durch die mittlere Wirkung des Monds um ihren 358sten Theil vermindert wird.

Vermöge dieser Verminderung erhält sich der Mond in einer gröfsern Entfernung von der Erde, als wenn er der ganzen Wirkung ihrer Schwere überlassen wäre. Der durch seinen Radius Vector um die Erde beschriebene Sector wird dadurch nicht verändert, weil die Kraft, die sie bewirkt, nach diesem Radius gerichtet ist. Aber die wirkliche Geschwindigkeit und die Winkelbewegung dieses Gestirns werden vermindert, und es ist leicht zu sehen, dafs, wenn man den Mond so weit entfernt, dafs seine Centrifugalkraft seiner durch die Wirkung der Sonne verminderten Schwere gleich ist, und sein Radius Vector den nämlichen Sector beschreibt, den er ohne diese Wirkung beschrieben hätte, dieser Radius um $\frac{1}{3\,5\,8}$ vermehrt, und die Winkelbewegung um $\frac{1}{1\,7\,9}$ vermindert werde.

Diese Gröfsen ändern sich im umgekehrten Verhältnisse der Würfel der Entfernungen der Sonne von der Erde. Wenn die Sonne in die Erdnähe kommt, so erweitert ihre nun stärker gewordene Wirkung die Mondsbahn; aber diese Bahn zieht sich in eben dem Maafse zusammen, als die Sonne ihrer Erdferne entgegenrückt. Der Mond beschreibt also im Weltraume eine Reihe von Epicycloi-

den, deren Mittelpunkte in der Erdbahn liegen, und die sich erweitern oder zusammenziehen, je nachdem die Erde der Sonne sich nähert, oder sich von ihr entfernt. Daraus entsteht in der Mondsbewegung eine der Mittelpunktsgleichung der Sonne ähnliche Gleichung, mit dem Unterschiede, dafs sie diese Bewegung vermindert, wenn die der Sonne zunimmt, und dafs sie solche beschleunigt, wenn die Bewegung der Sonne abnimmt, so dafs diese beyden Gleichungen ein entgegengeseztes Zeichen führen.

Die Winkelbewegung der Sonne verhält sich, wie wir im ersten Buche gesehen haben, umgekehrt wie das Quadrat ihrer Entfernung; da nun in der Erdnähe diese Entfernung um $\frac{1}{60}$ kleiner ist, als ihre mittlere Gröfse, so wird die Winkelgeschwindigkeit um $\frac{1}{30}$ vermehrt; die durch die Wirkung der Sonne in der Mondsbewegung bewirkte Verminderung um $\frac{1}{179}$ ist alsdann um $\frac{1}{20}$ grösser; die Zunahme dieser Verminderung beträgt also alsdann den 3580sten Theil dieser Bewegung. Daraus folgt, dafs die Mittelpunktsgleichung der Sonne zur Jahrsgleichung des Monds sich verhält, wie $\frac{1}{30}$ der Sonnenbewegung zu $\frac{1}{3580}$ der Mondsbewegung, wel-

hes 2398″ für die Jahrsgleichung giebt. Nach
en Beobachtungen ist sie ohngefähr um $\frac{1}{4}$
leiner; welcher Unterschied von den bey der
rstern Rechnung ausser Acht gelassenen Grös-
en herrührt.

Eine der Jahrsgleichung ähnliche Ursache
erursacht die seculare Gleichung des Monds.
Halley hat diese Gleichung zuerst bemerkt,
welche Dunthorn und Mayer durch eine
iefsinnige Untersuchung der Beobachtungen
estättigten. Diese zwey scharfsinnige Astro-
omen sahen, dafs den neueren Beobachtun-
en und den durch die Chaldäer und Araber
eobachteten Finsternissen nicht einerley mitt-
ere Bewegung des Monds Genüge thun könn-
e. Sie versuchten also sie darzustellen, in-
em sie zu den mittleren Längen dieses Tra-
anten eine, dem Quadrate der Zahl der vor
der nach 1700' verflossenen Jahrhunderte
roportionirte Gröfse hinzusezten. Nach
Dunthorn beträgt diese Gröfse 30″,9 für
as erste Jahrhundert; Mayer sezte sie in
einen ersten Mondstafeln auf 21″,6, und ver-
ehrte sie in den lezten bis auf 27″,8. End-
ich wurde Lalande durch eine neue Unter-
uchung dieses Gegenstandes sehr nahe auf
Dunthorns Resultat geführt.

Die arabischen Beobachtungen, wovon man hauptsächlich Gebrauch machte, sind zwey Sonnenfinsternisse, und eine Mondsfinsterniſs die in den Jahren 977, 978 und 97[illegible] von Ibn Junes bey Cairo beobachtet wurden; diese schienen einigen Astronomen verdächtig, aber eine aufmerksame Untersuchung führte zur Anerkennung ihrer Wirklichkeit. Ausserdem waren die neueren Beobachtungen, mit denen der Chaldäer verglichen, schon zureichend, um das Daseyn der secularen Mondsgleichung vestzusezen.

In der That hat de Lambre vermittelst einer groſsen Anzahl von Beobachtungen des leztverflossenen und des laufenden Jahrhunderts die wirkliche seculare Bewegung dieses Trabanten mit einer Genauigkeit bestimmt, die kaum eine Ungewiſsheit von einigen Secunden übrig läſst; er fand sie nur ohngefähr um 77″ kleiner, als die von Mayern angegebene, während die älteren Beobachtungen eine um sechs- oder siebenhundert Secunden kleinere seculare Bewegung geben. Die Mondsbewegung ist also seit den Zeiten der Chaldäer beschleuniget worden; und da die zwischen uns und ihnen gemachten arabischen Beobachtungen mit diesem Resultate über-

einstimmen, so ist es unmöglich, es in Zweifel zu ziehen.

Was ist nun die Ursache dieser Erscheinung? Giebt die allgemeine Schwere, die uns die zahlreichen Ungleichheiten des Monds so gut bekannt gemacht hat, auf gleiche Art von seiner secularen Ungleichheit Rechenschaft? Die Auflösung dieser Fragen ist um so viel wichtiger, weil man, wenn man dazu gelangt, eben damit das Gesez der secularen Veränderungen der Mondsbewegung hat. Denn man sieht wohl, dafs die von den Astronomen angenommene Hypothese einer der Zeit proportionirten Beschleunigung blos eine Näherung giebt, und nicht auf eine unbegrenzte Zeit ausgedehnt werden darf.

Dieser Gegenstand hat die Geometer viel beschäftiget, aber ihre lange Zeit fruchtlosen Untersuchungen liefsen weder in der Wirkung der Sonne und der Planeten auf den Mond, noch in den nicht genau kugelförmigen Gestalten dieses Trabanten und der Erde etwas entdecken, das seine mittlere Bewegung merklich ändern könnte.

Einige wählten den Ausweg, seine seculäre Gleichung zu verwerfen; andere nahmen, um sie zu erklären, zu verschiedenen

Mitteln, dergleichen die Wirkung der
meten, der Widerstand des Aethers und
allmählige Fortpflanzung der Schwere si
ihre Zuflucht. Indessen ist die Uebereinst
mung der übrigen himmlischen Erschein
gen mit der Theorie der Schwere so v
kommen, dafs man nicht ohne Bedauren
hen kann, dafs die seculare Gleichung
Monds sich dieser Theorie entziehen,
allein eine Ausnahme von einem allgemei
und einfachen Geseze machen soll, des
Entdeckung durch die Gröfse und Manch
tigkeit der Gegenstände, die es umfafst, d
menschlichen Geiste so viel Ehre ma
Diese Betrachtung bestimmte mich, di
Erscheinung von neuem zu untersuchen,
nach einigen Versuchen gelang es mir e
lich, ihre Ursache zu entdecken.

Die seculare Gleichung des Monds rü
von der Wirkung der Sonne auf diesen T
banten, in Verbindung mit der Veränder
der Excentricität der Erdbahn her. Um
eine richtige Vorstellung von dieser Ursa
zu machen, erinnern wir uns, dafs die E
mente der Erdbahn durch die Wirkung
Planeten Störungen leiden; ihre grofse
bleibt immer die nämliche, aber ihre Exc

tricität, ihre Neigung gegen eine unbewegliche Ebene, die Lage ihrer Knoten und ihrer Sonnennähe ändern sich ohne Unterlafs. Wir erinnern uns ferner, dafs die Wirkung der Sonne auf den Mond seine Winkelgeschwindigkeit um $\frac{1}{179}$ ändert, und dafs dieser Zahlcoëfficient im umgekehrten Verhältnisse mit dem Würfel der Entfernung der Erde von der Sonne sich ändert. Entwickelt man nun die umgekehrte dritte Potenz dieser Entfernung in einer nach dem Verhältnisse zu den Sinus und Cosinus der mittleren Bewegung der Erde, und deren vielfachen geordneten Reihe, und nimmt man die halbe grofse Axe der Erdbahn für die Einheit an; so findet man, dafs diese Reihe ein Glied enthält, das drey Halben des Quadrats der Excentricität dieser Bahn gleich ist. Der Ausdruck der Verminderung der Winkelgeschwindigkeit des Monds enthält also ein Glied, das dem 179sten Theile dieser Geschwindigkeit, multiplicirt mit drey Halben des Quadrats jener Excentricität, oder, was auf *eins* hinausläuft, dem Producte dieses Quadrats durch die Winkelgeschwindigkeit des Monds, dividirt durch 119,33, gleich ist. Wäre die Excentricität der Erdbahn beständig, so würde dieses Glied die mittlere Winkelge-

schwindigkeit des Monds selbst seyn; aber ihre Veränderung hat, ob sie schon sehr klein ist, auf die Länge einen merklichen Einfluſs auf die Mondsbewegung. Es ist sichtbar, daſs sie diese Bewegung beschleunigt, wenn die Excentricität abnimmt, was seit den alten Beobachtungen bis auf unsere Zeit Statt gefunden hat. Diese Beschleunigung wird sich in eine Verminderung verwandeln, wenn die Excentricität ihr Minimum wird erreicht haben, wo sie abzunehmen aufhören, und zu wachsen anfangen wird.

In dem Zeitraume von 1700 bis 1800 nimmt das Quadrat der Excentricität der Erdbahn um 0,0000015325 ab, wenn man die halbe groſse Axe für die Einheit annimmt; die zugehörige Zunahme der Winkelgeschwindigkeit des Monds ist also 0,00000001 28425 von dieser Geschwindigkeit. Da diese Zunahme allmählig und im Verhältnisse der Zeit Statt findet, so ist ihre Wirkung auf die Bewegung des Monds um die Hälfte kleiner, als wenn sie im ganzen Verlaufe des Jahrhunderts bis ans Ende die nämliche wäre. Man muſs also, um diese Wirkung oder die seculare Gleichung des Monds am Ende eines Jahrhunderts, von 1700 an gerechnet, zu bestimmen, die seculare Bewegung

wegung des Monds mit der Hälfte der sehr kleinen Zunahme seiner Winkelgeschwindigkeit multipliciren. Nun beträgt in einem Jahrhunderte die Bewegung des Monds 5347405454″; man erhält also 34″,337 für seine seculare Gleichung.

So lange die Abnahme des Quadrats der Excentricität der Erdbahn der Zeit proportionirt angenommen werden kann, wird die seculare Gleichung des Monds merklich wachsen, wie das Quadrat der Zeit; man wird also nur 34,337 mit dem Quadrate der Zahl der Jahrhunderte zwischen 1700 und der Zeit, für welche man rechnet, zu multipliciren brauchen. Ich habe aber gefunden, dafs, da ich zu den chaldäischen Beobachtungen zurückgieng, das dem Würfel der Zeit proportionirte Glied, in dem Ausdrucke der secularen Mondsgleichung durch eine Reihe, merklich wurde. Dieses Glied ist für das erste Jahrhundert 0″,13574 gleich; es mufs mit dem Würfel der Zahl der Jahrhunderte von 1700 an multiplicirt werden, für die vor dieser Epoche liegenden Jahrhunderte wird also dieses Product negativ.

Vergleicht man die Beobachtungen mit dieser Theorie, so findet man zwischen ihnen

eine Uebereinstimmung, die bewundernswürdig scheint, wenn man die Unvollkommenheit der alten Beobachtungen, die unsichere Art ihrer Fortpflanzung, und die Ungewifsheit betrachtet, welche noch über die Veränderungen der Excentricität der Erdbahn diejenige zurückläfst, worin wir in Ansehung der Massen der Venus und des Mars uns befinden.

Es ist merkwürdig, dafs die Abnahme der Excentricität der Erdbahn in der Bewegung des Monds viel merklicher seyn soll, als für sich selbst. Diese Verminderung, welche seit der ältesten Finsterniſs, wovon wir Kenntniſs haben, die Mittelpunktsgleichung der Sonne nicht um fünfzehn Minuten geändert hat, hat in der Länge des Monds eine Veränderung von zwey Graden hervorgebracht. Nach den Beobachtungen des Hipparchus konnte man sie kaum vermuthen, aber die alten Finsternisse sezen sie ausser Streit.

Die seculare Gleichung des Monds ist, wie die Veränderungen der Excentricität der Erdbahn, periodisch, und kommt, wie diese, erst nach mehreren Millionen Jahren wieder. Die äusserste Langsamkeit, womit sie diese Ungleichheit ändert, würde sie seit den ältesten Beobachtungen unmerklich gemacht ha-

ben, wenn nicht ihr Werth, indem er sich über mehrere Peripherien erstreckt, in den in verschiedenen Epochen beobachteten secularen Bewegungen beträchtliche Unterschiede hervorbrächte, welche zwar seit den Zeiten der Chaldäer nicht mehr, als sechzehn oder siebzehn Minuten, betragen haben, aber einst auf mehrere Grade sich belaufen werden. Die jezt sehr kleine Excentricität der Erdbahn wird zum wenigsten dreymal gröfser werden. Multiplicirt man die Zunahme ihres Quadrats mit der secularen Bewegung des Monds, so giebt das Product durch 119,33 dividirt, die seculare Verminderung dieser Bewegung, welche mehr, als zehn Grade, betragen wird. Die künftigen Jahrhunderte werden diese grossen Veränderungen entwickeln, deren Gesezе die Analysis bekannt macht, und man könnte auf solche Art den Beobachtungen voreilen, wenn die Massen der Planeten genau bestimmt wären. Aber diese für die Vervollkommnung der astronomischen Theorien so wünschenswerthe Bestimmung fehlt uns bis jezt noch. Glücklicherweise ist Jupiter, dessen Masse wir genau kennen, derjenige von den Planeten, welcher auf die seculare Gleichung des Monds den meisten Einfluſs hat.

Der Halbmesser der Mondsbahn nimmt mit der Excentricität der Erdbahn zu und ab. Wir haben gesehen, dafs die Wirkung der Sonne die mittlere Entfernung des Monds von der Erde um $\frac{1}{378}$ vermehre; das Glied, das in dem Ausdrucke dieser Wirkung drey Halben des Quadrats der Excentricität der Erdbahn proportionirt ist, vermehrt also die Mondsparallaxe, um eine dem Producte dieser Parallaxe durch den 239sten Theil dieses Quadrats gleiche Grösse. Wenn man also sezt, dafs dieses Quadrat sogar neunmal grösser werde, so wird die Mondsparallaxe doch nur um ein Zehntel einer Secunde vermehrt, welches unmerklich ist. Es ist also nicht zu besorgen, der Mond möchte sich einmal auf die Erde stürzen, wie dieſs Statt finden würde, wenn seine seculare Gleichung dem Widerstande des Aethers zuzuschreiben wäre.

Die Veränderungen der Excentricität der Mondsbahn sind eben so unmerklich; die der Bewegung der Knoten und der Erdnähe sind grofs genug, um es nothwendig zu machen, dafs man bey Unterſuchungen, welche die Vervollkommnung der Mondstheorie zum Gegenstande haben werden, darauf Rücksicht nehme.

Die mittlere Wirkung der Sonne auf diesen Trabanten hängt auch noch von der Neigung der Mondsbahn gegen die Ekliptik ab, und man könnte glauben, dafs, weil die Lage der Ekliptik veränderlich ist, daraus in der Mondsbewegung Ungleichheiten entstehen müfsten, die denen ähnlich sind, welche die Verminderung der Excentricität der Erdbahn hervorbringt. Aber die Mondsbahn wird ohne Unterlafs durch die Wirkung der Sonne zu einerley Neigung gegen die Erdbahn zurückgebracht, so dafs die gröfsten und kleinsten Abweichungen des Monds, vermöge der Veränderungen der Schiefe der Ekliptik, den nämlichen Veränderungen, wie die Abweichungen der Sonne unterworfen sind.

Einige Anhänger der Endursachen haben sich eingebildet, der Mond sey der Erde zugegeben, um sie bey Nacht zu erleuchten. In diefsem Falle würde die Natur die Absicht, die sie sich vorgesezt hätte, nicht erreicht haben; weil uns sehr oft das Licht der Sonne und des Monds zugleich entzogen wird. Um dies zu erhalten, wäre nur nöthig gewesen, den Mond von Anfange in Opposition mit der Sonne zu seen, nnd zwar in der Ebene der Ekliptik selbst, nd in einer Entfernung von der Erde, die

dem hundertsten Theile der Entfernung der Erde von der Sonne gleich wäre, und dem Monde und der Erde parallele und ihren Entfernungen von diesem Gestirne proportionirte Geschwindigkeiten zu ertheilen. Alsdann wäre der Mond beständig in Opposition mit der Sonne geblieben, und hätte um sie eine der Erdbahn ähnliche Ellipse beschrieben; diese beyden Gestirne wären über dem Horizonte auf einander gefolgt, und da der Mond in dieser Entfernung nie verfinstert worden wäre, so hätte sein Licht beständig das der Sonne ersezt.

Andere Philosophen, verleitet durch die sonderbare Meinung der Arkadier, die sich für älter als den Mond hielten, kamen auf den Gedanken, dieser Trabant sey ursprünglich ein Komet gewesen, der, als er an der Erde nahe vorbeygegangen, durch ihre Attraction genöthiget worden sey, sie zu begleiten. Wenn man aber mit Hülfe der Analysis in die entferntesten Jahrhunderte zurückgeht, so sieht man immer den Mond in einer beynahe kreisförmigen Bahn, wie die Planeten, sich um die Sonne bewegen; folglich war weder der Mond, noch irgend ein Trabant ursprünglich ein Komet.

Sechstes Kapitel.

Von den Störungen der Jupitertrabanten.

Die ersten Ungleichheiten, welche die Beachtung in der Bewegung dieser Körper kannt gemacht hat, bieten sich auch in r Theorie ihrer wechselseitigen Attraction erst dar.

Wir haben im zweyten Buche gesehen, ſs

1) in der Bewegung des ersten Trabanten ne Gleichung von 5258″, multiplicirt durch n Sinus des doppelten Ueberschusses der ttleren Länge des ersten Trabanten über des zweyten vorkommt.

2) In der Bewegung des zweyten Trabanı eine Gleichung von — 11923″ multiplicirt rch den Sinus des Ueberschusses der Länge s ersten Trabanten über die des zweyten;

3) in der Bewegung des dritten Trabanı eine Gleichung von — 827″ multiplicirt rch den Sinus des Ueberschusses der Länge zweyten Trabanten über die des dritten.

Nicht blos diese Ungleichheiten giebt die eorie der Schwere, wie Lagrange und illi zuerst gefunden haben; sie zeigt uns ch überdieſs, was die Beobachtungen mit

grofser Wahrscheinlichkeit zu erkennen gaben, dafs die Ungleichheit des zweyten Trabanten das Resultat von zwey Ungleichheiten ist deren eine die Wirkung des ersten Trabanten zur Ursache hat, und sich ändert wie der Sinus des Ueberschusses der Länge des ersten Trabanten über die des zweyten, die andere aber durch die Wirkung des dritten Trabanten hervorgebracht wird, und sich ändert wie der Sinus des doppelten Ueberschusses der Länge des zweyten Trabanten, über die des dritten. Folglich leidet der zweyte Trabant von dem ersten eine ähnliche Störung, wie der dritte von ihm, und er leidet vom dritten eine ähnliche Störung wie der erste von ihm.

Vermöge der Verhältnisse, welche zwischen den mittleren Bewegungen und den mittleren Längen der drey ersten Trabanten Statt finden, und nach welchen die mittlere Bewegung des ersten Trabanten sammt dem Doppelten von der des dritten dem Dreyfachen von der des zweyten, und der Ueberschufs der mittleren Länge des ersten Trabanten über das Dreyfache von der des zweyten, sammt dem Doppelten von der des dritten beständig der halben Peripherie gleich ist, fallen diese zwey Ungleichheiten in *eine* zusammen. Aber

werden diese Verhältnisse immerfort bestehen, oder treffen sie blos beynahe zu und werden die zwey Ungleichheiten des zweyten Trabanten, die heutzutage zusammenfallen, sich in der Folge der Zeit von einander absondern?

Die Näherung, womit die Tafeln die vorigen Verhältnisse gaben, brachte mich auf die Vermuthung, dafs sie genau seyn, und die kleinen Grössen, um welche diese Tafeln noch davon abwichen, von Fehlern, deren sie fähig wären, abhangen dürften. Es war gegen alle Wahrscheinlichkeit, anzunehmen, dafs der Zufall die drey ersten Trabanten urſprünglich in Entfernungen und Lagen gestellt habe, die zu diesen Verhältnissen passen, und es war dagegen höchstwahrscheinlich, dafs sie einer besondern Ursache zuzuschreiben seyen. Ich suchte daher diese Ursache in der wechselseitigen Wirkung der Trabanten.

Eine bis zur Ergründung fortgesezte Untersuchung dieser Wirkung zeigte mir, dafs sie diese Verhältnisse genau gemacht habe, und daraus schlofs ich, dafs, wenn man durch die Vergleichung einer sehr grofsen Anzahl von einander entfernter Beobachtungen die mittleren Bewegungen und mittleren Längen der drey ersten Trabanten von neuem bestimmte

man finden würde, dafs sie diesen Verhältnissen, welchen die Tafeln genau unterworfen seyn müssen, noch näher kommen. Ich erhielt die Genugthuung, diese Folgerung aus der Theorie durch die von Delambre über die Jupiterstrabanten angestellten Untersuchungen mit einer merkwürdigen Genauigkeit bestättiget zu sehen. Es ist nicht nothwendig, dafs diese Verhältnisse gleich vom Anfange genau Statt gefunden haben; es ist nur nöthig, dafs die Bewegungen und Längen der drey ersten Trabanten davon wenig entfernt gewesen seyen, und alsdann war die Wechselwirkung dieser Trabanten schon zureichend, um sie vestzusezen, und in aller Schärfe zu erhalten. Aber der geringe Unterschied zwischen ihnen und den anfänglichen Verhältnissen hat eine Ungleichheit von einer willkührlichen Ausdehnung veranlasset, die sich zwischen den drey Trabanten auf ungleiche Art vertheilt, und die ich mit dem Namen der *Libration* bezeichnet habe. Die zwey willkührlichen beständigen Grössen dieser Ungleichheit, stellen das Willkührliche in den mittleren Bewegungen und den Epochen der mittleren Längen der drey ersten Trabanten wieder her, was die zwey vorigen Verhältnisse davon entfernten;

denn die Zahl der willkührlichen Gröſsen, welche die Theorie eines Systems von Körpern enthält, ist nothwendig das Sechsfache von der Zahl dieser Körper. Da die Untersuchung der Beobachtungen diese Ungleichheit nicht hat bemerken lassen, so muſs sie sehr klein, und sogar unmerklich seyn.

Die obigen Verhältnisse werden immerfort bestehen, obschon die mittleren Bewegungen der Trabanten ähnlichen seculären Gleichungen, wie die Bewegung des Monds, unterworfen sind. Sie würden selbst in dem Falle noch bestehen, wenn diese Bewegungen durch den Widerstand eines Mittels, oder durch andere Ursachen, deren Wirkungen erst im Zeitraume eines Jahrhunderts merklich wären, abgeändert würden. In allen diesen Fällen werden die seculären Gleichungen dieser Bewegungen durch die Wechselwirkung der Trabanten einander coordinirt, so daſs die seculare Gleichung des ersten, sammt dem Doppelten von der des dritten, dem Dreyfachen von der des zweyten gleich ist. So bilden die drey ersten Jupiterstrabanten ein System von Körpern, die durch die obigen Verhältnisse und Ungleichheiten mit einander verbunden sind, welche ihre Wechselwirkung ohne Auf-

hören erhalten wird, wofern nicht eine fremde Ursache ihre gegenseitige Stellung gewaltsam in Unordnung bringt.

Die Theorie der Schwere hat mir die Ursache der besondern Veränderungen bekannt gemacht, welche man in der Excentricität der Bahn des dritten Trabanten beobachtet hat, und wovon im zweyten Buche die Rede war.

Diese Veränderungen hangen von zwey sehr verschiedenen Mittelpunktsgleichungen ab, denen seine Bewegung unterworfen ist, und wovon die eine auf die Jupitersnähe dieses Trabanten, die andere aber auf die des vierten sich bezieht. Die Excentricitäten der Bahnen der vier Trabanten und ihre Jupitersnähen sind durch die Wechselwirkung dieser Körper mit einander verbunden, vermöge deren die Excentricität des vierten Trabanten über die drey andern sich erstreckt, aber in eben dem Maafse schwächer, als sie von ihm entfernt sind. In der Bahn des dritten ist sie sehr merklich, und durch ihre Verbindung mit der dieser Bahn eigenen Excentricität bringt sie in der Bewegung des dritten Trabanten eine zusammengesezte Mittelpunktsgleichung hervor, deren gröfster Werth ohne Unterlafs sich ändert, und die sich auf eine Jupitersnähe

bezieht, deren Bewegung nicht gleichförmig ist. Im Anfange des Jahrs 1700. war die Länge der Jupitersnähe des vierten Trabanten 159°,43 und ihre jährliche und siderische Bewegung ist 7″,5″2. Die Länge der Jupitersnähe des dritten Trabanten war 194°,11 im Anfange des Jahrs 1700, und seine jährliche und siderische Bewegung ist 29776″. Diese Jupitersnähen fielen im Jahr 1684. zusammen, und die beyden Mittelpunktsgleichungen des dritten Trabanten machten eine einzige ihrer Summe gleiche, deren gröfster Werth auf 2661″ sich belief. Im Jahre 1775. hatten diese Jupitersnähen entgegengesezte Lagen, die zwey Mittelpunktsgleichungen machten eine einzige, ihrem Unterschiede gleiche, deren Werth nur 759″ betrug. Diefs ist die Ursache, warum Wargentin durch Vergleichung der Beobachtungen die Excentricität dieses Trabanten gegen den Anfang dieses Jahrhunderts am gröfsten, und um das Jahr 1760. am kleinsten gefunden hat. Er hatte anfänglich versucht, diese Veränderungen vermittelst zweyer Mittelpunktsgleichungen darzustellen; da er aber nicht wufste, dafs die eine von ihnen auf die Jupitersnähe des vierten Trabanten sich beziehe, und da er ihnen ihre Werthe nicht genau

gegeben hatte, so sahe er sich genöthiget, sie zu verlassen, und zu der Voraussezung einer veränderlichen Excentricität, deren Veränderungen er durch Beobachtungen bestimmte, seine Zuflucht zu nehmen.

Die Wechselwirkung der Jupiterstrabanten macht, dafs die Lage ihrer Bahnen sich jeden Augenblick ändert. Die Vergleichung der Theorie mit den Beobachtungen lehrt darüber folgendes.

Jupiters Aequator ist gegen die Bahn dieses Planeten um 3444″ geneigt; im Anfange des Jahrs 1700 war die Länge seines aufsteigenden Knoten 347°,8519, seine jährliche und siderische Bewegung beträgt ohngefähr 6″.

Die Bahn des ersten Trabanten ist gegen die Ebene des Aequators des Jupiters nur um 22″ geneigt, ihre Knoten auf dieser Ebene fallen mit den Knoten der nämlichen Ebene, und der Jupitersbahn zusammen, da die Bahn des Trabanten zwischen diesen zwey Ebenen liegt.

Die Bahn des zweyten Trabanten bewegt sich auf einer unbeweglichen Ebene, die gegen den Aequator Jupiters um 221″ geneigt ist, und durch die Knotenlinie dieses Aequators geht, zwischen dieser lezten Ebene, und der der Jupitersbahn.

Die Bahn des Trabanten ist um 5182″ gegen diese unbewegliche Ebene geneigt, und ihre Knoten mit dieser Ebene haben eine rückläufige Bewegung, deren jährlicher und sideischer Werth 13°,3488, und deren Periode 10 julianische Jahre ist. Im Jahr 1700 war die Länge des aufsteigenden Knoten 179°,5185.

Die Bahn des dritten Trabanten bewegt sich auf einer unbeweglichen Ebene, die gegen Jupiters Aequator um 1030″ geneigt ist, und durch die Knotenlinie dieses Aequators geht, zwischen dieser lezteren Ebene, und der der Jupitersbahn. Die Bahn des Trabanten ist gegen diese unbewegliche Ebene um 2244″ geneigt, und ihre Knoten mit dieser Ebene haben eine rückläufige Bewegung, deren jährlicher und siderischer Werth 2,°9149, und deren Periode 137 Jahre ist; im Jahre 1700 war die Länge des aufsteigenden Knoten 136°,9630.

Die Astronomen, welche die Bewegung dieses Knoten aus den Beobachtungen erkannt hatten, nahmen an, die Bahnen des zweyten und dritten Trabanten seyen in Jupiters Aequator selbst in Bewegung; aber sie waren durch diese Beobachtungen genöthigt, die Neigung dieses Aequators gegen die Jupiters-

bahn etwas zu vermindern, wenn sie die B[illegible]
wegung des dritten Trabanten betrachteten.

Endlich bewegt sich die Bahn des vie[illegible]-
ten Trabanten in einer unbeweglichen Eben[illegible],
die gegen Jupiters Aequator um 4630″ genei[illegible]t
ist, und durch die Knotenlinie dieses Aequa-
tors geht, zwischen dieser letzteren Ebene,
und der der Jupitersbahn. Die Bahn des Tra-
banten ist gegen diese unbewegliche Ebene
um 2772″ geneigt, und ihre Knoten mit die-
ser Bahn haben eine rückläufige Bewegung,
deren jährlicher und siderischer Werth 7519″
und deren Periode 532 Jahre ist; im Jahr
1700 war die Länge des aufsteigenden Kn
ten 153°,5185. Die Neigung der Bahn
vierten Trabanten gegen die des Jupiters
dert sich, vermöge dieser Bewegung,
Aufhören. Nachdem sie gegen das End
vorigen Jahrhunderts ihr Minimum e
hatte, stand sie viele Jahre lang beynal
und die Knoten der Bahn des Tr
mit der Jupitersbahn hatten eine
rechtläufige Bewegung von ohngefäh
nuten.

Diesen durch die Beobachtunge
gemachten Umstand haben die A
ergriffen, und bey den Tafeln

rabanten angewandt; aber seit mehreren ahren zeigen die Beobachtungen in der Neiung seiner Bahn gegen die des Jupiters eine hr merkliche Zunahme, welche, ohne die ülfe der Theorie die Verfertigung seiner afeln sehr erschwert haben würde. Für den eometer ist es genugthuend, diese besonden Erscheinungen, welche die Beobachtung hnden liefs, die aber, da sie aus mehreren infachen Ungleichheiten herfliefsen, zu verickelt sind, als dafs die Astronomen die esetze derselben hätten entdecken können, us seiner Analyse hervorgehen zu sehen.

Die verschiedenen Ebenen, deren wir obin erwähnten, in welchen die Bahnen er Trabanten sich bewegen, sind nicht geau unbeweglich; die Ebene des Aequators es Jupiters zieht sie mit in ihre Bewegung, o dafs ihre Knoten mit der Bahn dieses Plaeten beständig die nämlichen, wie die seies Aequators und ihre Neigungen gegen die bene dieser Bahn, der des Aequators beständig proportionirt sind. Aber alle diese Begungen sind seit der Entdeckung der Traanten bis auf unsere Zeit unmerklich.

Die Bahn eines jeden Trabanten nimmt nigen Antheil an der Bewegung der benach-

bahn etwas zu vermindern, wenn [illegible] die Beobachtungen
wegung des dritten Trabanten bet[illegible] gegen die des Jupiters

Endlich bewegt sich die B[illegible] annahme, welche, ohne die
ten Trabanten in einer unbew[illegible] die Verfertigung seiner
die gegen Jupiters Aequator [illegible] Für den
ist, und durch die Knote[illegible]chen würde,
tors geht, zwischen di[illegible] und diese besonde-
und der der Jupitersba[illegible] die Beobachtung
banten ist gegen d[illegible] [illegible] zu nehmen
um 2772″ geneigt[illegible]
ser Bahn haben [illegible]
deren jährliche[illegible]
und deren Pe[illegible]
1700 war d[illegible]
ten 153°[illegible] -erung
vierten T[illegible] theorie in d
dert sic[illegible]e, und welche di
Aufhö[illegible]n kaum merklich mac
vori[illegible]e Theorie hat allen Empir
har[illegible]afeln der Jupiterstrabanten
ur[illegible] von Delambre bekannt g
welche nur die unentbehrlichen Best
stücke von den Beobachtungen e
haben den Vorzug, sich über alle Jahr
zu erstrecken, indem sie diese Besti
stücke in eben dem Maafse berichtige
besser bekannt seyn werden. Es ist

barten Bahnen; denn in einem Systeme von Körpern, die ihrer eigenen Wechselwirkung unterworfen sind, hängt alles zusammen.

Die Trabanten des Jupiters machen um ihn ein System von Körpern, das dem Systeme der Planeten um die Sonne ähnlich ist; und da ihre Umläufe sehr schnell sind, so haben sie uns in dem kurzen Zeitraume von ihrer Entdeckung an, alle die grofsen Veränderungen gezeigt, welche eine lange Reihe von Jahrhunderten in dem Planetensysteme herbeyführen mufs. So sezt die Uebereinstimmung der Theorie der Schwere mit den beobachteten Veränderungen in den Bahnen der Jupiterstrabanten die Veränderungen aufser Zweifel, welche diese Theorie in den Planetenbahnen anzeigt, und welche die ältesten Beobachtungen kaum merklich machen.

Diese Theorie hat allen Empirismus aus den Tafeln der Jupiterstrabanten verbannt. Die von Delambre bekannt gemachten, welche nur die unentbehrlichen Bestimmungsstücke von den Beobachtungen entlehnen, haben den Vorzug, sich über alle Jahrhunderte zu erstrecken, indem sie diese Bestimmungsstücke in eben dem Maafse berichtigen als sie besser bekannt seyn werden. Es ist begreif-

lich, dafs man, um die Theorie vestzusezen, die diesen Tafeln zur Grundlage gedient hat, die Massen der Trabanten und die Abplattung des Jupiters durch Näherung kennen mufste. Fünf durch Beobachtung gegebene Stücke sind nothwendig, um diese fünf unbekannte zu bestimmen. Die von welchen ich Gebrauch gemacht habe, sind die zwey beträchtlichsten Ungleichheiten des ersten und zweyten Trabanten, die Periode der Veränderungen der Neigung der Bahn des zweyten Trabanten, die Mittelpunktsgleichung des dritten Trabanten, die sich auf die Jupitersnähe des vierten bezieht; endlich die Bewegung dieser Jupitersnähe. Nimmt man Jupiters Masse zur Einheit an, so sind die Massen der Trabanten, die sich aus den vorerwähnten Bestimmungsstücken ergeben, folgende:

I. Trabant . . . . . 0,0000172011.
II. Trabant . . . . . 0,0000237103.
III. Trabant . . . . . 0,0000872128.
IV. Trabant . . . . . 0,0000544681.

Man wird diese Werthe berichtigen, wenn man in der Folge der Zeit die secularen Veränderungen der Trabanten besser kennen lernen wird.

Verhältniſs der beyden Axen des Ju-
das aus den nämlichen Bestimmungs-
n folgt, ist 0,93041. gleich. Diese s
ltniſs ist mehrmals mit groſser Genauig-
gemessen worden, und das Mittel aus die-
Messungen ist $\frac{13}{14}$ oder 0,929, was vo n
n vorigen Resultate nur um eine unmerk-
ne Kleinigkeit abweicht. Betrachtet man
er den groſsen Einfluſs der Abplattung des
upiters auf die Bewegung der Knoten und der
Jupitersnähen der Trabanten, so sieht man,
daſs das Verhältniſs der Axen des Jupiters
durch die Beobachtungen der Verfinsterungen
genauer, als durch die genauesten Messungen
gegeben ist. Uebrigens beweiſst uns die
Uebereinstimmung dieser Messungen mit dem
Resultate der Theorie auf eine einleuchtende
Art, daſs die Schwere gegen den Jupiter aus
allen einzelnen Schweren gegen jedes seiner
Elemente (molécules) zusammengesezt ist,
weil man, wenn man von diesem Grundsaze
ausgeht, die beobachtete Abplattung des Jupi-
ters wieder findet.

Die Verfinsterungen des ersten Jupiters-
trabanten haben die Entdeckung der allmäligen
Fortpflanzung des Lichts veranlaſst, welche
die Erscheinung der Abirrung in der Folge

noch genauer bestimmt hat. Da nun die Theorie der Bewegung dieses Trabanten heut zu Tage vervollkommnet ist, und die Beobachtungen seiner Verfinsterungen sehr zahlreich geworden sind, so schien es mir, die Untersuchung derselben müfste die Gröfse der Abirrung mit noch mehr Genauigkeit, als die directe Beobachtung geben. Delambre hat, auf meine Bitte, die Gefälligkeit gehabt, diese Untersuchung anzustellen, und 62″,5 für den ganzen Werth der Abirrung gefunden, welcher mit demjenigen genau einerley ist, den Bradley aus seinen Beobachtungen hergeleitet hatte. Es ist sonderbar, zwischen Resultaten, die aus so verschiedenen Methoden gezogen worden sind, eine so genaue Uebereinstimmung zu bemerken. Aus dieser Uebereinstimmung folgt, dafs die Geschwindigkeit des Lichts durch den ganzen in der Erdbahn eingeschlossenen Raum gleichförmig ist.

In der That ist die durch die Abirrung gegebene Geschwindigkeit des Lichts diejenige, welche in der Peripherie der Erdbahn Statt hat, und welche durch ihre Verbindung mit der Bewegung der Erde diese Erscheinung hervorbringt. Die aus den Verfinsterungen der Jupiterstrabanten geschlossene Geschwindig-

keit des Lichts wird durch die Zeit bestimmt, welche das Licht braucht, um die Erdbahn zu durchlaufen; da also diese beyden Geschwindigkeiten die nämlichen sind, so ist die Geschwindigkeit des Lichts durch die ganze Länge des Durchmessers der Erdbahn gleichförmig. Aus diesen Verfinsterungen folgt ferner, dafs diese Geschwindigkeit auch durch die ganze Länge der Jupitersbahn gleichförmig ist; denn die Wirkung der Veränderung des Radius Vector dieser Bahn auf die Verfinsterungen der Trabanten ist nach dem Verhältnisse ihrer Excentricität sehr merklich, und genau die nämliche, wie bey der Voraussezung der gleichförmigen Bewegung des Lichts.

Wenn das Licht in Ausflüssen der leuchtenden Körper besteht, so fordert die Gleichförmigkeit seiner Geschwindigkeit, dafs es durch jeden derselben mit einerley Kraft getrieben, und seine Bewegung durch ihre Anziehung nicht merklich aufgehalten werde. Läfst man hingegen das Licht in Schwingungen einer elastischen Flüssigkeit bestehen, so mufs man, wegen der Gleichförmigkeit seiner Geschwindigkeit, die Dichtigkeit dieser Flüssigkeit durch den ganzen Raum des Planetensystems, ihrer Federkraft proportionirt an-

hmen. Aber die Einfachheit, womit die irrung der Sterne und die Erscheinungen r Brechung des Lichts beym Durchgange s einem Mittel in ein anderes sich erklären ssen, wenn man das Licht als einen Ausfluſs r leuchtenden Körper betrachtet, machen ese Voraussezung sehr wahrscheinlich.

Siebentes Kapitel.

on der Gestalt der Erde und der Planeten, und dem Geseze der Schwere auf ihrer Oberfläche.

m ersten Buche haben wir das erklärt, was e Beobachtungen über die Gestalt der Erde nd der Planeten gelehrt haben; jezt wollen ir diese Resultate, mit denen, welche die lgemeine Schwere (pesanteur) giebt, verleichen.

Die Schwere (gravité) *) gegen die Plane-

*) Da durch dieses ganze Kapitel die Schwere (pesanteur) von der Schwere (gravité) unterschieden wird, so will ich, der Kürze wegen, diesen Unterschied nur durch Beysezung der Buchstaben p. g., zu dem Worte Schwere bemerklich machen. Die Frage: warum die teutsche Sprache für das eine dieser Dinge keinen Namen habe? hat Herr Hofrath Kästner beantwortet. (Weitere Ausführung der mathematischen Geographie. Göttingen 1795. S. 163.)

ten ist aus den Attractionen aller ihrer Elemente zusammengesezt. Wären ihre Massen flüssig und ohne Umdrehungsbewegung, so wäre ihre Gestalt, und die ihrer verschiedenen Schichten, kugelförmig, und die dem Mittelpunkte am nächsten liegende Schichten die dichtesten. Die Schwere p auf der äuſseren Oberfläche und in jeder Entfernung auſser derselben wäre genau die nämliche, wie wenn die ganze Masse des Planeten in seinem Schwerpunkte vereiniget wäre. Dieſs ist eine merkwürdige Eigenschaft, vermöge welcher die Sonne, die Planeten, Kometen und Trabanten sehr nahe als eben so viele materielle Punkte auf einander wirken.

In groſsen Entfernungen heben die Attraction der von dem angezogenen Punkte entferntesten Elemente eines Körpers von jeder Figur und die der nächsten, einander auf, so daſs die gesammte Attraction ohngefähr die nämliche ist, wie wenn diese Elemente in ihrem Schwerpunkte vereiniget wären; und wenn man das Verhältniſs der Dimensionen des Körpers zu seiner Entfernung von dem angezogenen Punkte als eine sehr kleine Gröſse von der ersten Ordnung betrachtet, so ist dieses Resultat bis auf Gröſsen der zweyten Ord-

ung genau. Es ist aber für die Kugel nach er Schärfe richtig, und für ein von derselben wenig abweichendes Sphäroid ist es von der nämlichen Ordnung, wie das Product seiner Excentricität durch das Quadrat des Verhältnisses seines Halbmessers zu seiner Entfernung von dem Punkte, den es anzieht.

Die Eigenschaft, welche die Kugel besizt, so anzuziehen, als wenn ihre Masse in ihrem Mittelpunkte vereiniget wäre, trägt also zu der Einfachheit der himmlischen Bewegungen bey. Sie kommt nicht ausschliefsend dem Naturgeseze zu, sondern sie findet auch noch bey dem Geseze der der einfachen Entfernung proportionirten Anziehung Statt, und sie kann nur den durch die Zusammensezung dieser beyden einfachen Geseze entstandenen Gesezen zukommen. Aber unter allen Gesezen, nach welchen die Schwere p in einer unendlichen Entfernung verschwindet, ist das wirkliche Naturgesez das einzige, wobey die Kugel diese Eigenschaft hat.

Nach diesem Geseze wird ein Körper, der sich in einer durchgängig gleich dichten sphärischen Schichte befindet, von allen Seiten gleichförmig angezogen, so dafs er, mitten unter den Anziehungen, die er leidet, in

Kuhe bleiben würde. Das nämliche hat Statt in einer elliptischen Schichte, deren innere und äuſsere Oberfläche ähnlich sind, und ähnlich liegen. Wenn man also annimmt, die Planeten seyen gleichartige Kugeln, so nimmt die Schwere p in ihrem Innern ab, wie die Entfernung von ihrem Mittelpunkte; denn die den angezogenen Punkt umschlieſsende Hülle trägt nichts zu seiner Schwere p bey, welche also blos durch die Attraction einer Kugel von einem Halbmesser, der dem Abstande dieses Punkts von des Planeten Mittelpunkte gleich ist, bewirkt wird; nun ist diese Attraction der Masse der Kugel, dividirt durch das Quadrat ihres Halbmessers, proportionirt, und die Masse verhält sich wie der Würfel eben dieses Halbmessers; folglich ist die Schwere p des Punkts diesem Halbmesser proportionirt. Da aber die Schichten des Planeten wahrscheinlich in dem Maafse dichter sind, als sie dem Mittelpunkte näher liegen; so nimmt die Schwere p im Innern in einem geringern Verhältnisse, als in dem Falle ihrer Gleichartigkeit, ab.

Die Umdrehungsbewegung der Planeten entfernt sie ein wenig von der Kugelgestalt; die von dieser Bewegung herrührende Centri-

fugalkraft blähet sie an dem Aequator auf, und drückt sie beyden Polen ein. Wir wollen zuerst die Wirkungen dieser Abplattung in dem sehr einfachen Falle betrachten, da die Erde eine gleichartige flüssige Masse, die Schwere g gegen ihren Mittelpunkt gerichtet, und dem Quadrate des Abstandes von diesem Punkte umgekehrt proportionirt wäre. Es ist leicht zu beweisen, dafs alsdann das Erdsphäroid ein durch Umdrehung entstandenes Ellipsoid sey. Denn wenn man zwey in ihrem Mittelpunkte zusammenlaufende flüssige Säulen gedenkt, deren eine in dem Pole, die andere in einem beliebigen Punkte ihrer Oberfläche sich endigt, so ist klar, dafs diese zwey Säulen einander das Gleichgewicht halten müssen. Die Centrifugalkraft ändert das Gewicht der gegen den Pol zu gerichteten Säule nicht, sie vermindert nur das Gewicht der andern Säule. Im Mittelpunkte der Erde ist diese Kraft gleich Null; auf der Oberfläche ist sie dem Halbmesser des Erdparallels, oder sehr nahe dem Cosinus der Breite proportionirt, aber sie wird nicht ganz auf die Verminderung der Schwere g verwandt. Da diese zwey Kräfte einen Winkel mit einander machen, der der Breite gleich ist, so wird die Centrifugalkraft, wenn man

sie so zerlegt, dafs der eine Theil von ihr nach der Richtung der Schwere g geht, in dem Verhältnisse des Cosinus dieses Winkels zum Halbmesser vermindert; folglich wird an der Oberfläche der Erde die Schwere g von der Centrifugalkraft um das Product aus der Centrifugalkraft am Aequator durch das Quadrat des Cosinus der Breite vermindert; der mittlere Werth dieser Verminderung in der Länge der flüssigen Säule ist also die Hälfte dieses Products, und da die Centrifugalkraft $\frac{1}{289}$ der Schwere g am Aequator ist, so ist dieser Werth $\frac{1}{578}$ der Schwere g, multiplicirt mit dem Quadrate des Cosinus der Breite. Zum Gleichgewichte wird erfordert, dafs die Säule die Verminderung ihrer Schwere p durch ihre Länge ersetze; sie mufs also die Polarsäule um $\frac{1}{578}$ ihrer Grösse, multiplicirt mit dem Quadrate eben dieses Cosinus, übertreffen. Demnach sind die Zunahmen der Erdhalbmesser vom Pole nach dem Aequator diesem Quadrate proportionirt; daraus aber kann man leicht den Schlufs ziehen, dafs die Erde ein durch Umdrehung entstandenes Ellipsoid sey, dessen Polaraxe zum Aequatorialdurchmesser sich verhält wie 577 zu 578.

Man übersieht leicht, daſs das Gleichgewicht der flüssigen Masse noch bestehen würde, unter der Voraussezung, daſs ein Theil in ihrem Innern sich verdichtete, wenn nur die Kraft der Schwere g die nämliche bleibt.

Um das Gesez der Schwere p an der Oberfläche der Erde zu bestimmen, wollen wir bemerken, daſs die Schwere g in jedem Punkte dieser Oberfläche, nach dem Verhältnisse der gröſsern Entfernung vom Mittelpunkte, kleiner ist, als an dem Pole. Diese Abnahme ist sehr nahe das Doppelte von der Zunahme des Erdhalbmessers: sie ist also dem Producte von $\frac{1}{289}$ der Schwere g durch das Quadrat des Cosinus der Breite gleich. Die Centrifugalkraft vermindert noch die Schwere p um eben diese Grösse; folglich ist, vermöge der Vereinigung dieser beyden Ursachen, die Abnahme der Schwere p vom Pole bis zum Aequator dem Producte von 0,00694 durch das Quadrat des Cosinus der Breite gleich, wenn man die Schwere g am Aequator für die Einheit annimmt.

Wir haben im ersten Buche gesehen, daſs die Messungen der Meridiangrade der Erde eine gröſsere Abplattung als $\frac{1}{578}$ geben, und daſs die Messungen des Pendels eine Abnahme

der Schwere p von den Polen nach dem Aequator anzeigen, die kleiner, als 0, 00694 und nur 0, 00555 gleich ist; die Messungen der Grade und des Pendels vereinigen sich also, um zu zeigen, dafs die Schwere g nicht gegen einen einzigen Punkt gerichtet sey; und dieſs ist mithin ein Erfahrungsbeweis für den Saz, den wir oben dargethan haben, dafs sie aus den Attractionen aller Elemente der Erde zusammengesezt sey.

In diesem Falle hängt das Gesez der Schwere g von der Gestalt des Erdsphäroids ab, welche selbst hinwiederum von dem Geseze der Schwere g abhängig ist. Diese wechselseitige Abhängigkeit zweyer unbekannten Gröſsen macht die Untersuchung der Gestalt der Erde sehr schwer. Glücklicherweise thut die elliptische Gestalt, als die einfachste unter allen in sich zurücklaufenden Figuren, nach der Kugel dem Gleichgewichte einer flüssigen Masse die eine Umdrehungsbewegung hat, und deren sämtliche Elemente einander wechselseitig im Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen anziehen, Genüge. Newton begnügte sich damit, sie vorauszusezen, und fand, indem er von dieser Hypothese und von der Gleichartigkeit der Erde ausgieng, dafs die zwey

Axen dieses Planeten sich zusammen verhalten, wie 229 zu 230.

Daraus läſst sich das Gesez der Veränderung der Schwere p auf der Erde leicht herleiten. Wir betrachten zu dem Ende verschiedene Punkte, die in einerley Halbmesser liegen, der aus dem Mittelpunkte einer gleichartigen, im Gleichgewichte befindlichen flüssigen Masse an ihre Oberfläche geht. Alle ähnlichen elliptischen Schichten, welche einen von ihnen einschlieſsen, tragen nichts zu seiner Schwere p bey; und das Resultat der Anziehungen, die er leidet, ist blos der Attraction eines, dem ganzen Sphäroid ähnlichen elliptischen Sphäroids zuzuschreiben, dessen Oberfläche durch diesen Punkt geht. Die ähnlichen und ähnlich liegenden Elemente dieser beyden Sphäroiden ziehen stückweise diesen Punkt und den zugehörigen Punkt der äuſseren Fläche, im Verhältnisse der Quotienten der Massen durch die Quadrate der Entfernungen, an; die Massen verhalten sich, wie die Würfel der ähnlichen Dimensionen der beyden Sphäroiden, und die Quadrate der Entfernungen wie die Quadrate eben dieser Dimensionen; die Attractionen ähnlicher Elemente sind also diesen Dimensionen proportionirt;

woraus folgt, dafs die ganzen Attractionen der beyden Sphäroiden, in dem nämlichen Verhältnisse, und ihre Richtungen parallel sind. Auch die Centrifugalkräfte der beyden Punkte, die wir betrachten, sind den nämlichen Dimensionen proportionirt; ihre Schweren p, welche die Resultate aller dieser Kräfte sind, verhalten sich also wie ihre Entfernungen von dem Mittelpunkte der flüssigen Masse.

Gedenkt man sich nun zwey flüssige Säulen, deren eine aus dem Mittelpunkte des Sphäroids nach dem Pole, die andere nach einem beliebigen Punkte seiner Oberfläche geht, so ist klar, dafs, wenn das Sphäroid sehr wenig abgeplattet ist, die nach den Richtungen dieser Säulen zerlegten Schweren p sehr nahe die nämlichen wie die ganzen Schweren p seyn werden. Theilt man also die Länge der Säulen in eine gleiche Zahl unendlich kleiner, diesen Längen proportionirter Theile, so werden die Gewichte der zusammengehörigen Theile sich zusammen verhalten wie die Producte aus den Längen der Säulen durch die Schwerenp in den Punkten der Oberfläche, wo sie sich endigen; die ganzen Gewichte dieser Säulen werden also in dem nämlichen Verhältnisse stehen. Im Falle des Gleichgewichts müssen die-

se

se Gewichte gleich seyn; folglich sind die Schweren p auf der Oberfläche den Längen der Säulen umgekehrt proportionirt. Da also der Halbmesser des Aequators den des Pols um $\frac{1}{230}$ übertrifft, so mufs die Schwere p unter dem Pole die am Aequator um $\frac{1}{230}$ übertreffen.

Dies hat Maclaurin unter der Voraussezung, dafs die elliptische Figur dem Gleichgewichte einer gleichartigen flüssigen Masse Genüge thue, durch eine sehr schöne Methode erwiesen, aus welcher sich ergiebt, dafs das Gleichgewicht alsdann nach der Strenge möglich, und dafs, wenn das Ellipsoid sehr wenig abgeplattet ist, die Ellipticität fünf Vierteln des Verhältnisses der Centrifugalkraft zur Schwere p am Aequator gleich ist.

Zu einerley Umdrehungsbewegung passen zwey verschiedene Figuren, die das Gleichgewicht verstattet; aber das Gleichgewicht kann nicht bey allen diesen Bewegungen bestehen. Die kürzeste Umdrehungszeit einer gleichartigen im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeit von gleicher Dichtigkeit mit der mittleren Dichtigkeit der Erde, ist 0,10089 Tag; und diese Grenze ändert sich im umgekehrten Verhältnisse von der Quadratwurzel der Dichtigkeit. Wenn die Umdrehung am

ſchnellſten ist, so wird die flüssige Masse unter den Polen abgeplattet, dadurch wird ihre Umdrehungszeit kleiner, und fällt zwischen die zum Zustande des Gleichgewichts taugliche Grenzen; nach einer groſsen Zahl von Schwingungen sezt sich die flüssige Masse, vermöge der Reibungen und des Widerstands, den sie leidet, in diesem Zustande vest, welcher nur einer, und durch die ursprüngliche Umdrehungsbewegung bestimmt ist.

Die vorhergehenden Resultate geben uns ein einfaches Mittel an die Hand, die Hypothese von der Gleichartigkeit der Erde zu bestättigen.

Die Unregelmäſsigkeit der gemessenen Meridiangrade läſst über die Abplattung der Erde noch gar zu viele Ungewiſsheit, als daſs man erkennen könnte, ob sie ohngefähr so beschaffen ist, wie diese Hypothese es fordert. Aber die ziemlich regelmäſsige Zunahme der Schwere p vom Aequator nach den Polen kann uns über diesen Gegenstand Licht geben. Nimmt man die Schwere p am Aequator zur Einheit an, so ist ihre Zunahme bis zum Pole, im Falle der Gleichartigkeit der Erde, 0,00435; aber nach den Pendelbeobachtungen ist diese Zunahme 0, 00555; die Erde ist also

nicht gleichartig. Es ist in der That natürlich zu denken, dafs die Dichtigkeit ihrer Schichten von der Oberfläche gegen den Mittelpunkt zunehme; ja es ist zur Beständigkeit des Gleichgewichts der Meere sogar nothwendig, dafs ihre Dichtigkeit kleiner, als die mittlere Dichtigkeit der Erde sey; sonst würden die Gewässer derselben, wenn sie durch die Winde oder andere Ursachen aufgetrieben werden, oft über ihre Grenzen austreten, um das feste Land zu überschwemmen.

Da also die Gleichartigkeit der Erde durch die Beobachtungen ausgeschlossen wird, so mufs man, um ihre Gestalt zu bestimmen, das Meer als die Hülle eines Kerns betrachten, dessen Schichten eine vom Mittelpunkte nach der Oberfläche zu abnehmende Dichtigkeit haben. Clairaut hat in seinem schönen Werke über die Figur der Erde bewiesen, dafs das Gleichgewicht bey der Voraussezung einer in ihrer Oberfläche, und in den Schichten des innern Kerns elliptischen Gestalt noch möglich sey. Bey den wahrscheinlichsten Hypothesen über das Gesez der Dichtigkeiten und der Ellipticitäten dieser Schichten ist die Abplattung der Erde kleiner, als im Falle der Gleichartigkeit, und gröfser, als wenn die

Schwere g gegen einen einzigen Punkt gerichtet wäre; die Zunahme der Schwere p vom Aequator nach den Polen ist gröfser, als im ersten, und kleiner, als im zweyten Falle. Aber zwischen der ganzen Zunahme der Schwere p, wenn man die am Aequator zur Einheit annimmt, und der Ellipticität der Erde findet das merkwürdige Verhältnifs Statt, dafs bey allen Hypothesen über die Beschaffenheit des vom Meere umschlossenen Kerns die Ellipticität der ganzen Erde von derjenigen, welche im Falle der Gleichartigkeit Statt hat, um eben so viel übertroffen wird, um wie viel die ganze Zunahme der Schwere p diejenige übertrifft, welche in eben diesem Falle Statt findet, und umgekehrt; so dafs die Summe dieser Zunahme und der Ellipticität immer die nämliche und fünf Halben des Verhältnisses der Centrifugalkraft zur Schwere p am Aequator gleich ist, welches für die Erde $\frac{1}{115}/_2$ giebt.

Sezt man also, die Gestalt der Schichten des Erdsphäroids sey elliptisch, so ist die Zunahme seiner Halbmesser, und der Schwere p, und die Abnahme der Meridiangrade von den Polen nach dem Aequator dem Quadrate des Cosinus der Breite proportionirt, und sie sind

mit der Ellipticität der Erde so verbunden, daſs die ganze Zunahme der Halbmesser, dieser Ellipticität, die ganze Abnahme der Grade dem Producte der Ellipticität durch das Dreyfache des Aequatorialgrads, und die ganze Zunahme der Schwere p, dem Producte der Schwere p am Aequator durch den Ueberschuſs von $\frac{1}{115,2}$ über diese Ellipticität gleich ist. Man kann also die Ellipticität der Erde sowohl durch die Gradmessungen als durch die Pendelbeobachtungen bestimmen.

Diese Beobachtungen geben 0,0055506. für die Zunahme der Schwere p vom Aequator bis zu den Polen; zieht man diese Gröſse von $\frac{1}{115,2}$ ab, so erhält man $\frac{1}{320}$ für die Abplattung der Erde. Wenn die Voraussezung einer elliptischen Gestalt in der Natur würklich Statt hat, so muſs diese Abplattung den Gradmessungen Genüge thun; aber sie sezt im Gegentheile unwahrscheinliche Irrthümer dabey voraus, und dies, mit der Schwierigkeit, alle diese Messungen einer und derselben elliptischen Figur anzupassen, beweiſst uns, daſs die Figur der Erde viel zusammengesezter ist, als man vorher glaubte. Darüber

wird man sich auch nicht wundern, wenn man die Unregelmäfsigkeit der Tiefen des Meeres, die Erhöhung des vesten Landes und der Inseln über dessen wagrechte Fläche, die Höhe der Berge, die ungleiche Dichtigkeit der Gewässer, und der verschiedenen, auf der Oberfläche dieses Planeten befindlichen Körper betrachtet.

Um die Theorie von der Gestalt der Erde und der Planeten mit der gröfsten Allgemeinheit zu umfassen, mufste man die Attraction solcher Sphäroiden bestimmen, die von der Kugelgestalt wenig abweichen und aus Schichten bestehen, deren Gestalt und Dichtigkeit sich nach jeden Gesezen ändern; man mufste auch die Figur bestimmen, welche dem Gleichgewichte einer über ihre Oberfläche verbreiteten Flüssigkeit zukommt; denn man mufs sich die Planeten, wie die Erde mit einer im Gleichgewichte befindlichen Flüssigkeit bedeckt vorstellen; sonst würde ihre Gestalt ganz willkührlich seyn. Dalembert hat dazu eine sinnreiche Methode angegeben, die sich auf sehr viele Fälle erstreckt, aber es fehlt ihr an derjenigen Einfachheit, die bey so verwickelten Untersuchungen so sehr zu wünschen ist, und die auch das gröfste Verdienst davon aus-

macht. Mich hat eine merkwürdige Gleichung für die partialen Differenzen, die sich auf die Attractionen der Sphäroiden bezieht, ohne Hülfe der Integrationen, durch bloſse Differentiationen, auf allgemeine Ausdrücke, von den Halbmessern der Sphäroiden, von ihren Attractionen gegen jede Punkte in ihrem Innern, auf ihrer Oberfläche, oder aufser derselben, von den Bedingungen des Gleichgewichts der Flüssigkeiten, die sie bedecken, von dem Geseze der Schwere p, und der Veränderung der Grade auf der Oberfläche dieser Flüssigkeiten geführt. Alle diese Gröſsen sind durch sehr einfache Verhältnisse mit einander verbunden, und es ergiebt sich daraus ein leichtes Mittel, die Voraussezungen zu berichtigen, die man annehmen kann, um theils die beobachteten Veränderungen der Schwere p, theils die Messungen der Meridiangrade darzustellen. So findet man, daſs Bouguers Voraussezung, welcher in der Absicht, die in Lappland, in Frankreich und am Aequator gemessenen Grade darzustellen, annahm, die Erde sey ein durch Umdrehung entstandenes Sphäroid, auf welchem die Zunahme der Meridiangrade vom Aequator gegen die Pole dem Biquadrate des Sinus der Breite

proportionirt sey, der Zunahme der Schwere p vom Aequator bis nach Pello nicht Genüge thut, welche, nach den Beobachtungen 46 Zehnmilliontheilchen der ganzen Schwere p beträgt, da sie, nach dieser Voraussezung nur 27 solcher Theilchen betragen würde.

Die erwähnten Ausdrücke geben eine directe und allgemeine Auflösung der Aufgabe: Die Figur einer im Gleichgewichte befindlichen, mit einer Umdrehungsbewegung versehenen, und aus unendlich vielen Flüssigkeiten von jeder Dichtigkeit zusammengesezten flüssigen Masse zu bestimmen, deren sämmtliche Elemente einander im geraden Verhältnisse der Massen, und im umgekehrten des Quadrats der Entfernungen anziehen. Legendre hat bereits diese Aufgabe, unter der Voraussezung einer gleichartigen Masse, durch eine sehr sinnreiche Analyse aufgelöst. In dem allgemeinen Falle nimmt die flüssige Masse nothwendig die Gestalt eines durch Umdrehung entstandenen Ellipsoids an, dessen sämtliche Schichten elliptisch, und von abnehmender Dichtigkeit sind, während ihre Ellipticität von dem Mittelpunkte gegen die Oberfläche zu wächst. Die Grenzen der Abplattung des ganzen Ellipsoids sind $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ von dem

Verhältnisse der Centrifugalkraft zur Schwere p am Aequator; die erste Grenze bezieht sich auf die Gleichartigkeit der Masse, und die zweyte auf den Fall, wo die dem Mittelpunkte unendlich nahen Schichten unendlich dicht sind, und die ganze Masse des Spharoids als in diesem Punkte vereinigt angesehen werden kann. In diesem Falle würde die Schwere p gegen einen einzigen Punkt gerichtet, und dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportionirt seyn, wie wir sie oben bestimmt haben; aber in dem allgemeinen Falle ist die Linie, welche die Richtung der Schwere p vom Mittelpunkte bis an die Oberfläche des Sphäroids bestimmt, eine Curve, von welcher jedes Element auf der Schichte, durch die es geht, lothrecht ist.

Es ist sehr merkwürdig, dafs die beobachteten Veränderungen der Pendellängen dem Geseze des Quadrats des Cosinus der Breite ziemlich genau folgen, von welchem die Veränderungen der gemessenen Meridiangrade merklich abweichen. Die allgemeine Theorie der Attractionen der im Gleichgewichte befindlichen Sphäroiden giebt von dieser Erscheinung eine sehr einfache Erklärung; sie zeigt uns, dafs die Stücke, welche in dem Werthe

des Erdhalbmessers von diesem Gesezé abweichen, in dem Ausdrucke der Schwere p merklicher, und in dem Ausdrucke der Grade noch merklicher werden, wo sie Werthe bekommen können, die grofs genug sind, um die Erscheinung, wovon die Rede ist, hervorzubringen. Diese Theorie lehrt uns ferner, dafs die Grenzen der ganzen Zunahme der Schwere p, die am Aequator für die Einheit angenommen, die Producte aus $\frac{1}{2}$ und aus $\frac{5}{4}$ durch das Verhältnifs der Centrifugalkraft zur Schwere p seyen; die erste dieser Grenzen bezieht sich auf den Fall, wo die Schichten im Mittelpunkte unendlich dicht wären, die zweyte aber auf die Gleichartigkeit der Erde. Dafs die beobachtete Zunahme zwischen diese Grenzen fällt, zeigt an, dafs die Dichtigkeit der Schichten des Erdsphäroids in eben dem Maasse zunimmt, als sie sich dem Mittelpunkte nähern, was auch den Gesezen der Hydrostatik gemäfs ist. Die Theorie thut also den Beobachtungen so gut Genüge, als man es, bey der Unwissenheit, worin wir uns in Ansehung der Beschaffenheit des Inneren der Erde befinden, nur verlangen kann.

Aus dieser Uebereinstimmung folgt, dafs man bey der Berechnung der Veränderungen

:r Schwere p., und der Parallaxen eine ellip-
sche Gestalt der Erdmeridiane annehmen
ann, deren Abplattung dem Ueberschusse
:s Bruchs $\frac{1}{115,2}$ über die ganze Zunahme der
:hwere p vom Aequator bis zu den Polen
eich ist.

Der aus dem Schwerpunkte des Erdsphä-
oids unter dem Parallele, für welchen das
uadrat des Sinus der Breite $\frac{1}{3}$ ist, an seine
berfläche gehende Halbmesser bestimmt die
ugel von einerley Masse mit der Erde, und
on einer Dichtigkeit, die ihrer mittleren
ichtigkeit gleich ist. Dieser Halbmesser ist
)614648 Fuſs groſs, und die Schwere g unter
iesem Parallele ist die nämliche, wie auf der
berfläche dieser Kugel.

Was ist aber das Verhältniſs der mittleren
ichtigkeit der Erde zu der einer bekannten
laterie, die ihre Oberfläche hätte? Die Wir-
ng der Attraction der Berge auf die Schwin-
ngen des Pendels und auf die Richtung des
leyloths kann uns allein zur Auflösung die-
r wichtigen Aufgabe führen. In der That
nd auch die höchsten Berge im Verhältnisse
gen die Erde immer noch sehr klein, aber
ir können dem Mittelpunkte ihrer Wirkung

sehr nahe kommen, und dies, in Verbindung mit der Genauigkeit der neueren Beobachtungen, kann ihre Wirkungen merklich machen. Die Berge in Peru, als die höchsten der Erde, schienen zu dieser Absicht am geschicktesten zu seyn. Bouguer verabsäumte daher eine so wichtige Beobachtung auf seiner, wegen der Messung der Meridiangrade am Aequator unternommenen Reise nicht. Aber da diese grofsen Körper vulkanisch und inwendig hohl sind, so fand man die Wirkung ihrer Anziehung viel kleiner, als man nach dem Verhältnisse ihrer Gröfse hätte erwarten sollen.

Indessen war sie gleichwohl merklich; denn auf dem Gipfel des Pichincha würde die Verminderung der Schwere p, ohne die Attraction des Bergs, 0,00149 gewesen seyn, sie war aber, nach den Beobachtungen, nur 0,00118. Die Wirkung der Abweichung des Bleyloths wegen der Anziehung eines andern Bergs übertraf 20″. Seitdem hat Maskelyne eine ähnliche durch die Anziehung eines Bergs in Schottland verursachte Wirkung mit der äufsersten Sorgfalt gemessen, und das Resultat erhalten, dafs die mittlere Dichtigkeit der Erde ohngefähr doppelt so grofs, als die des Berges, und vier- oder fünfmal gröfser, als

lie des gemeinen Wassers ist. Diese sonder-
are Beobachtung verdient recht oft, und auf
erschiedenen Bergen, deren innere Beschaf-
enheit wohl bekannt ist, wiederholt zu wer-
en.

Wir wollen nun die vorhergehende Theo-
e auf den Jupiter anwenden.

Die von der Umdrehungsbewegung die-
s Planeten herrührende Centrifugalkraft ist
ehr nahe $\frac{1}{9}$ der Schwere p an seinem Aequa-
or, wenigstens wenn man die im zweyten Bu-
he angegebene Entfernung des vierten Tra-
anten von seinem Mittelpunkte annimmt.
Wäre Jupiter gleichartig, so würde man sei-
nen Aequatorialdurchmesser erhalten, wenn
man zu seiner kleinen Axe, diese für die Ein-
heit angenommen, fünf Viertel des vorigen
Bruchs hinzusezte; diese beyden Axen stünden
also in dem Verhältnisse von 41 zu 36. Nach
den Beobachtungen aber ist ihr Verhältniss
das von 14 zu 13; Jupiter ist also nicht gleich-
artig. Nimmt man an, er bestehe aus Schich-
en, deren Dichtigkeiten von dem Mittelpunk-
e nach der Oberfläche zu abnehmen, so muss
eine Ellipticität zwischen $\frac{5}{36}$ und $\frac{1}{18}$ fallen.
Dass die beobachtete Ellipticität zwischen die-
e Grenzen fällt, beweisst uns die Ungleich-

artigkeit seiner Schichten, und durch die Analogie auch die der Schichten des Erdsphäroids, die schon an sich, und durch die Pendelbeobachtungen sehr wahrscheinlich ist.

Achtes Kapitel.

Von der Gestalt des Saturnsrings.

Der Ring des Saturns wird, wie wir im ersten Buche gesehen haben, von zwey concentrischen Ringen von sehr geringer Dicke gebildet. Durch welchen Mechanismus erhalten sich nun diese Ringe um diesen Planeten? Es ist nicht wahrscheinlich, dafs dies durch das bloſse Anhängen ihrer Elemente geschehe; denn alsdann würden ihre, dem Saturn nahe liegenden Theile, da sie durch die immer wiederholte Wirkung der Schwere getrieben werden, sich auf die Länge von den Ringen ablösen, welche durch eine unmerkliche Abnahme endlich vernichtet werden würden, so wie alle Werke der Natur, welche nicht hinreichende Kräfte hatten, um der Einwirkung fremder Ursachen zu widerstehen.

Diese Ringe erhalten sich also ohne ein

sonderes Bestreben und durch die bloſsen
eseze des Gleichgewichts; aber man muſs
nen zu dem Ende eine Umdrehungsbewe-
ng um eine auf ihrer Ebene lothrechte, und
rch Saturns Mittelpunkt gehende Axe geben,
mit ihre Schwere gegen den Planeten durch
re von dieser Bewegung herrührende Centri-
galkraft im Gleichgewichte gehalten wird.

Wir wollen uns eine in Gestalt des Rings
n den Saturn verbreitete gleichartige Flüssig-
eit vorstellen, und sehen, was für eine Fi-
ur sie haben müsse, damit sie, vermöge der
echselseitigen Anziehung ihrer Elemente,
rmöge ihrer Schwere gegen den Saturn,
nd ihrer Centrifugalkraft, im Gleichgewichte
y. Wenn man durch des Planeten Mittel-
nkt eine auf der Ebene des Rings lothrechte
bene legt, so entsteht ein Durchschnitt die-
r Ebene mit dem Ringe, welchen ich die
zeugende Curve (cóurbe génératrice) nenne.

Die Analysis zeigt, daſs, wenn die Dicke
s Rings, in Ansehung seiner Entfernung
n Saturns Mittelpunkte, nicht beträchtlich
t, das Gleichgewicht der Flüssigkeit möglich
t, wenn die erzeugende Curve eine Ellipse
, deren groſse Axe gegen des Planeten Mit-
punkt gerichtet ist. Die Umdrehungszeit

des Rings ist ohngefähr die nämliche, wie die Umlaufszeit eines Trabanten, der sich, in der Entfernung des Mittelpunkts der erzeugenden Ellipse, kreisförmig bewegte, und diese Zeit ist ohngefähr 4 $\frac{1}{3}$ Stunde für den innern Ring.

Das Gleichgewicht der Flüssigkeit würde noch bestehen, wenn man die Gröfse und Lage der erzeugenden Ellipse durch den ganzen Umfang des Rings veränderlich sezte, wofern diese Veränderungen nur erst in viel gröfseren Entfernungen, als die Axe des erzeugenden Durchschnitts ist, merklich wären.

Man kann also annehmen, der Ring habe in seinen verschiedenen Theilen eine ungleiche Dicke, ja man kann sogar sezen, er sey von doppelter Krümmung. Diese Ungleichheiten werden durch die Phänomene des Erscheinens und Verschwindens des Saturnsrings, die bey den beyden Armen desselben verschieden waren, angezeigt; sie sind sogar nothwendig, um den Ring im Gleichgewichte um den Planeten zu erhalten; denn wenn er in allen seinen Theilen vollkommen ähnlich wäre, so würde sein Gleichgewicht durch die geringste Kraft, z. B. durch die Attraction eines Trabanten, gestört werden, und der Ring würde sich endlich auf den Planeten stürzen.

Die

Die den Saturn umgebenden Ringe sind so unregelmäfsige veste Körper, von ungleier Dicke in verschiedenen Punkten ihres mfangs, so dafs ihre Schwerpunkte mit den littelpunkten ihrer Figur nicht zusammenfaln. Diese Schwerpunkte können als eben so iele Trabanten betrachtet werden, die sich m Saturns Mittelpunkt in Entfernungen bewe-en, welche von den Ungleichheiten der Ringe hangen, und mit Winkelgeschwindigkeiten, ie den Geschwindigkeiten der Umdrehung rer zugehörigen Ringe gleich sind.

Begreiflich müssen diese Ringe, die durch re eigene Wechselwirkung durch die Wirung der Sonne und der Saturnstrabanten etrieben werden, sich um den Mittelpunkt dies Planeten schwingen, und ihre Knoten mit der bene der Bahn des Planeten müssen rückläge Bewegungen haben. Man könnte glauen, dafs sie aufhören müfsten, in der nämchen Ebene zu seyn, weil sie unter der Einirkung verschiedener Kräfte stehen; aber da turn eine schnelle Umdrehungsbewegung t, und die Ebene seines Aequators mit der es Rings und der sechs ersten Trabanten eierley ist, so erhält seine Wirkung das System ieser verschiedenen Körper in dieser Ebene.

Die Wirkung der Sonne und des siebenten Trabanten verursacht blos eine Veränderung in der Lage der Aequatorsebene des Saturns, welcher bey dieser Bewegung die Ringe, und die Bahnen der sechs ersten Trabanten durch einen Mechanismus fortführt, der demjenigen ähnlich ist, welcher die Bahnen der Jupiterstrabanten, und hauptsächlich die des ersten, ohngefähr in der Aequatorsebene dieses Planeten erhält.

Neuntes Kapitel.

Von den Atmosphären der Himmelskörper.

Eine dünne, durchsichtige, zusammendrückbare, und elastische Flüssigkeit, die einen Körper umgiebt, nennt man seine *Atmosphäre.* Wir gedenken um jeden Himmelskörper eine ähnliche Atmosphäre, deren Daseyn bey allen wahrscheinlich, und bey der Sonne und dem Jupiter durch die Beobachtungen angezeigt ist. Die atmosphärische Flüssigkeit wird in eben dem Maafse dünner, als sie sich über die Körper erhebt, vermöge ihrer Federkraft, welche sie um so vielmehr aus-

ehmt, je weniger sie zusammengedrückt ist. Wären aber die Theile ihrer Oberfläche elaisch, so würde sie sich ohne Unterlafs ausdehen, und sich endlich in dem Weltraume zerreuen; die Federkraft der atmosphärischen lüssigkeit mufs also in einem gröfseren Verältnisse abnehmen, als das Gewicht, das sie usammendrückt, und es mufs einen Zustand er abnehmenden Dichtigkeit geben, wobey ese Flüssigkeit ohne Federkraft ist; und in esem Zustande mufs sie an der Oberfläche er Atmosphäre sich befinden.

Alle atmosphärischen Schichten müssen if die Länge einerley Umdrehungsbewegung nehmen, die den Körpern, welche sie umeben, gemeinschaftlich ist; denn die Reiung dieser Schichten unter einander und an er Oberfläche der Körper mufs die langsamsten ewegungen soweit beschleunigen, und die hnellsten aufhalten, bis eine völlige Gleicheit unter ihnen zu Stande gebracht ist. Bey iesen Veränderungen, und überhaupt bey len denen, welche die Atmosphäre leidet, leibt die Summe der Producte der Elemente er Körper und ihrer Atmosphäre, wenn sie tückweise durch die Flächen, welche ihre auf e Aequatorsebene projicirten Radii vectores

um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt beschreiben, multiplicirt werden, immer in einerley Zeit die nämliche. Sezt man also, daſs aus irgend einer Ursache die Atmosphäre sich zusammenziehe, oder ein Theil von ihr, an der Oberfläche des Körpers sich verdichte, so wird die Umdrehungsbewegung des Körpers und der Atmosphäre dadurch beschleunigt; denn da die Radii vectores der durch die Elemente der anfänglichen Atmosphäre beschriebenen Flächen kleiner werden, so kann die Summe der Producte aller Elemente durch die zugehörigen Flächen nicht die nämliche bleiben, wofern nicht die Geschwindigkeit der Umdrehung zunimmt.

An der Oberfläche der Atmosphäre wird die Flüssigkeit blos durch ihre Schwere zurückgehalten, und die Figur dieser Oberfläche ist so beschaffen, daſs das Resultat der Centrifugalkraft und der Anziehungskraft des Körpers auf ihr lothrecht ist. Die Atmosphäre wird an ihren Polen abgeplattet, und schwillt um ihren Aequator auf; aber diese Abplattung hat Grenzen, und in dem Falle, wo sie am gröſsten ist, ist das Verhältniſs der Axen des Pols und des Aequators das von 2 zu 3.

Die Atmosphäre kann sich um den Aequa-

r nur so weit ausdehnen, bis die Centrifu-
alkraft der Schwere genau das Gleichgewicht
ält; denn es ist klar, dafs über diese Grenze
inaus die Flüssigkeit sich zerstreuen müsse.
ey der Sonne ist dieser Grenzpunkt von
hrem Mittelpunkte um den Halbmesser der
ahn eines Planeten entfernt, welcher seinen
mlauf in einer Zeit machen würde, die der
mdrehungszeit der Sonne gleich ist. Die
tmosphäre der Sonne erstreckt sich also nicht
is zu der Bahn des Merkurs, und folglich
ringt sie auch das Thierkreislicht nicht her-
or, welches sich sogar über die Erdbahn hin-
us zu erstrecken scheint. Aufserdem ist diese
tmosphäre, deren Polaraxe zum wenigsten
wey Drittheile von der des Aequators halten
nufs, weit entfernt, die linsenförmige Ge-
talt zu haben, welche die Beobachtungen dem
hierkreislichte geben.

Der Punkt wo die Centrifugalkraft der
chwere das Gleichgewicht hält, ist um so
iel näher bey dem Körper, je schneller die
mdrehungsbewegung ist. Wenn man sich
orstellt, dafs die Atmosphäre sich bis an diese
Grenze erstrecke, und dafs sie sofort sich zu-
sammen ziehe, und durch die Erkältung an
der Oberfläche des Körpers verdichte, so wird

die Umdrehungsbewegung immer schneller werden, und die äuſserste Grenze der Atmosphäre wird sich ohne Unterlaſs dem Mittelpunkte nähern. Die Atmosphäre wird also allmählig in der Ebene ihres Aequators flüssige Zonen absezen, welche fortfahren werden um den Körper zu laufen, weil ihre Centrifugalkraft ihrer Schwere gleich ist; da aber diese Gleichheit bey den vom Aequator entfernten Elementen der Atmosphäre nicht Statt hat, so werden diese nicht aufhören, ihr anzugehören. Es ist wahrscheinlich, daſs die Ringe des Saturns solche von seiner Atmosphäre abgesezte Zonen seyen.

Wenn andere Körper, um den, welchen wir betrachten, laufen, oder, wenn er selbst um einen andern Körper läuft, so ist die Grenze seiner Attraction der Punkt, wo seine Centrifugalkraft, sammt der Attraction der fremden Körper, seine Schwere genau aufwiegt; so ist die Grenze der Atmosphäre des Monds der Punkt, wo die von seiner Umdrehungsbewegung herrührende Centrifugalkraft, sammt der Anziehungskraft der Erde, mit der Attraction dieses Trabanten im Gleichgewichte ist. Da die Masse des Monds, wie wir im

Vorhergehenden gesehen haben, $\frac{1}{58,7}$ von der der Erde ist, so beträgt der Abstand dieses Punkts von des Monds Mittelpunkte ohngefähr den neunten Theil der Entfernung des Monds von der Erde. Wenn in dieser Entfernung die ursprüngliche Atmosphäre des Monds ihrer Federkraft nicht beraubt war, so wird sie sich nach der Erde zu begeben haben, die sie also annehmen konnte. Dies ist vielleicht die Ursache, warum diese Atmosphäre so wenig merklich ist.

Zehntes Kapitel.

Von der Ebbe und Fluth des Meeres.

Wenn schon die Untersuchung der Gesetze des Gleichgewichts der Flüssigkeiten, welche die Planeten bedecken, grofse Schwierigkeiten darbietet, so mufs die Untersuchung der Bewegung dieser Flüssigkeiten, in welche sie durch die Attraction der Gestirne versetzt werden, mit noch erheblicheren verbunden seyn. Auch Newton, der sich zuerst mit dieser richtigen Aufgabe beschäftigte, begnügte sich

damit, die Figur zu bestimmen, bey welcher das Meer unter der Einwirkung der Sonne und des Monds im Gleichgewichte seyn würde. Er sezte voraus, das Meer nehme diese Figur jeden Augenblick an, und diese Voraussezung, welche die Berechnungen äuſserst erleichtert, gab ihm Resultate, die unter vielen Beziehungen mit den Beobachtungen übereinstimmten. In der That nahm dieser groſse Geometer auf die Umdrehungsbewegung der Erde Rücksicht, um das Zurückbleiben der Ebbe und Fluth hinter den Durchgängen der Sonne und des Monds durch den Meridian zu erklären. Aber der Gang seiner Schlüsse ist nicht befriedigend, und widerspricht auſserdem dem Resultate einer genauen Analyse. Die Akademie der Wissenschaften machte dies zum Gegenstande einer Preisfrage für das Jahr 1740.; die gekrönten Abhandlungen enthalten Entwickelungen der Newtonischen Theorie, welche sich auf die nämliche Hypothese vom Gleichgewichte des Meeres unter der Einwirkung der Gestirne, die es anziehen, gründen. Man übersieht indessen leicht, daſs die Schnelligkeit der Umdrehungsbewegung der Erde die Gewässer, welche sie bedecken, verhindert, jeden Augenblick die Figur anzunehmen, welche dem Gleich-

gewichte der Kräfte, die sie in Bewegung ezen, angemessen ist. Aber die Untersuchung ieser Bewegung, in Verbindung mit der Wirung der Sonne und des Monds, zeigte Schwiigkeiten, welche den Kenntnissen, die man amals in der Analysis und von der Bewegung er Flüssigkeiten hatte, überlegen waren. nterstüzt von den seitdem über diese zwey egenstände gemachten Entdeckungen nahm ch diese schwerste Aufgabe der ganzen Mechaik des Himmels wieder vor. Die einzigen Hypothesen, die ich mir erlaubte, sind die, lafs das Meer die ganze Erde bedecke, und lafs es, bey seinen Bewegungen nur kleine Hindernisse finde; sonst ist meine ganze Theorie genau, und auf die Grundsäze von der Bewegung der flüssigen Körper gegründet. Indem ich mich so der Natur näherte, hatte ich die Genugthuung, zu sehen, dafs meine Resultate sich den Beobachtungen näherten, besonders in Ansehung des kleinen Unterschieds, der in unsern Häfen zwischen den beyden Fluthen des nämlichen Tags Statt findet, und welcher nach Newtons Theorie sehr grofs seyn würde. Ich bin auf das merkwürdige Resultat gekommen, dafs man, um diesen Unterschied völlig auf Null zu bringen, nur voraus

zu sezen brauche, dafs das Meer durchgängig einerley Tiefe habe. Daniel Bernoulli versuchte in seiner Abhandlung über die Ebbe und Fluth des Meeres, welche einen Theil des von der Akademie für das Jahr 1740. ausgesezten Preises bekam, diese Erscheinung durch die Umdrehungsbewegung der Erde zu erklären. Nach ihm ist diese Bewegung zu schnell, als dafs die Fluthen zu den Resultaten der Theorie passen könnten. Aber die Analysis zeigt uns, dafs diese Schnelligkeit die Fluthen nicht hindern würde, sehr ungleich zu seyn, wenn die Tiefe des Meers nicht beständig wäre. Man sieht aus diesem Beyspiele, und aus dem vorhin angeführten von Newton, wie viel Mistrauen man auch in die wahrscheinlichsten Wahrnehmungen sezen müsse, wenn sie nicht durch eine genaue Berechnung berichtiget werden.

Obschon die vorhergehenden Resultate sich sehr weit erstrecken, so sind sie doch durch die Voraussezung einer über die Erde regelmäfsig verbreiteten Flüssigkeit, die bey ihren Bewegungen nur sehr geringen Widerstand leide, noch eingeschränkt. Die Unregelmäfsigkeit der Tiefe des Meeres, die Lage und der Abhang der Ufer, ihre Verhältnisse

an den benachbarten Küsten, die Reibungen der Gewässer am Meeresgrunde, und der Widerstand, den sie von demselben leiden, alle diese Ursachen, die sich keiner Berechnung unterwerfen lassen, ändern die Schwingungen dieser grofsen flüssigen Masse verschiedentlich. Alles, was wir thun können, ist, die allgemeinen Erscheinungen der Ebbe und Fluth, welche aus den Anziehungskräften der Sonne und des Monds folgen müssen, zu entwickeln, und aus den Beobachtungen die Bestimmungsstücke zu ziehen, deren Kenntnifs unumgänglich erforderlich ist, um die Theorie der Ebbe und Fluth in jedem Hafen zu ergänzen. Diese Bestimmungsstücke sind eben so viele willkührliche Gröfsen, die von dem Umfange des Meeres, von seiner Tiefe und den Localumständen des Hafens abhangen. Wir wollen nur die Theorie der Schwingungen des Meeres und ihre Uebereinstimmung mit den Beobachtungen aus diesem Gesichtspunkte betrachten.

Zuerst betrachten wir blos die Wirkung der Sonne auf das Meer, und sezen dabey voraus, dafs dieses Gestirn sich gleichförmig in der Ebene des Aequators bewege. Man übersieht leicht, dafs, wenn die Sonne den Schwerpunkt der Erde und alle Elemente des Meeres

mit gleichen und parallelen Kräften anzöge, das ganze System des Erdsphäroids, und der Gewässer, die es bedecken, diesen Kräften mit gemeinschaftlicher Bewegung folgen, und das Gleichgewicht der Gewässer nicht gestört werden würde. Dieses Gleichgewicht wird also nur durch den Unterschied dieser Kräfte, und durch die Ungleichheit ihrer Richtungen gestört. Ein unter der Sonne liegendes Element des Meeres, wird von ihr mehr angezogen, als der Mittelpunkt der Erde; es strebt also, sich von der Oberfläche der leztern abzulösen, wird aber durch seine Schwere, die dieses Bestreben vermindert, auf derselbigen zurückgehalten. Einen halben Tag nachher steht dieses Element in Opposition mit der Sonne, die es alsdann schwächer, als den Mittelpunkt der Erde anzieht; die Oberfläche der Erdkugel ist also nun bestrebt, sich von demselben los zu machen, aber die Schwere des Elements hält es an ihr vest; diese Kraft wird also noch durch die Attraction der Sonne vermindert; und da die Entfernung der Sonne von der Erde in Ansehung des Halbmessers der Erdkugel sehr grofs ist, so kann man sich leicht davon überzeugen, dafs die Verminderung der Schwere in diesen beyden Fällen

sehr nahe die nämliche sey. Eine bloſse Zerlegung der Wirkung der Sonne auf die Elemente des Meeres ist hinreichend, um zu sehen, daſs in jeder andern Lage dieses Gestirns gegen diese Elemente sein Einfluſs auf die Stöhrung des Gleichgewichts derselben nach einem halben Tage wieder der nämliche werde.

Nun kann man als einen allgemeinen Grundsaz der Mechanik vestsezen, daſs der Zustand eines Systems von Körpern, bey welchem die ursprünglichen Bedingungen der Bewegung, durch den Widerstand, den es leidet, aufgehoben worden, periodisch sey, wie die Kräfte, von welchen es getrieben wird; es muſs also jedesmal nach Verfluſs eines halben Tags wieder der nämliche Zustand des Meers eintreten, so daſs man während dieser Zeit einmal Ebbe und einmal Fluth hat.

Das Gesez, nach welchem das Meer steigt und fällt, kann auf folgende Art bestimmt werden. Man gedenke sich einen verticalen Kreis, dessen Peripherie einen halben Tag vorstelle, und dessen Durchmesser der totalen Fluth, d. h. dem Unterschiede der Höhen der vollen und der tiefen See, gleich sey; und man seze, daſs die Bogen dieser Peripherie, von dem niedrigsten Punkte an gerechnet,

die von der tiefen See an verflossenen Zeiten ausdrücken, so werden die Quersinus dieser Bogen die mit diesen Zeiten zusammengehörigen Meereshöhen seyn. Das Meer schneidet also bey seinem Steigen in gleichen Zeiten gleiche Bogen dieser Pheripherie ab.

Mitten in einem von allen Seiten freyen Meere findet dieses Gesez genau Statt; aber in unsern Häfen werden die Fluthen durch besondere Localumstände etwas davon entfernt. Das Meer braucht daselbst etwas mehr Zeit zum Fallen, als zum Steigen, und zu *Brest* beträgt der Unterschied dieser zwey Zeiten ohngefähr 10 $\frac{1}{2}$ Minuten.

Je gröfser ein Meer ist, desto merklicher müssen die Erscheinungen der Ebbe und Fluth seyn. Bey einer flüssigen Masse theilen sich alle Eindrücke, welche ein jedes Element erhält, der ganzen Masse mit; dadurch bringt die bey einem einzelnen Elemente unmerkliche Wirkung der Sonne in dem Weltmeere merkwürdige Erscheinungen hervor. Wir wollen uns einen über den Meeresgrund hin gekrümmten Kanal vorstellen, dessen eines Ende über der Meeresfläche in eine lothrechte Röhre ausgeht, deren Verlängerung der Sonne Mittelpunkt trift. In dieser Röhre wird sich das

Wasser, vermöge der Einwirkung dieses Gestirns, welche die Schwere seiner Elemente vermindert, und überdies vermöge des Drucks der in dem Kanale eingeschlossenen Wassertheilchen, erheben, welche sämmtlich bestrebt sind, sich unter der Sonne zu vereinigen. Die Erhebung des Wassers in der Röhre, über dem natürlichen Wasserspiegel des Meeres ist das Integral dieser unendlich kleinen Bestrebungen. Wenn die Länge des Kanals zunimmt, wird dieses Integral gröfser, weil es sich über einen gröfsern Raum erstreckt, und bey ein gröfserer Unterschied in der Richtung und Gröfse der Kraft, wovon die äufsern Elemente getrieben werden, Statt findet. Man sieht an diesem Beyspiele den Einfluſs der Ausdehnung des Meeres auf die Erscheinungen der Ebbe und Fluth, und die Ursache, warum diese in kleinen Meeren, wie im *Schwarzen* und *Caspischen* unmerklich sind.

Die Gröfse der Fluthen hängt viel von Nebenumständen ab. Die wellenförmigen Bewegungen des Meeres können in einer Meerenge sehr groſs werden; das Zurückprellen des Wassers von entgegenstehenden Ufern kann noch mehr vergröfsern. Daher sind die den Inseln des Südmeers durchgängig sehr

kleine Fluthen in unsern Häfen sehr beträchtlich.

Wenn das Weltmeer ein durch Umdrehung entstandenes Sphäroid bedeckte, und wenn es bey seinen Bewegungen keinen Widerstand litte, so wäre der Augenblick der vollen See zugleich der des oberen oder unteren Durchgangs der Sonne durch den Mittagskreis; aber es verhält sich damit nicht so in der Natur, und die Localumstände bringen, selbst in sehr nahen Häfen, beträchtliche Verschiedenheiten in die Zeit der Fluthen. Um eine richtige Vorstellung von diesen Verschiedenheiten zu erhalten, wollen wir uns eine mit dem Meere in Gemeinschaft stehende und sich tief in das veste Land hinein ziehende weite Röhre vorstellen; man übersieht leicht, dafs die wellenförmigen Bewegungen, welche an ihrer Mündung Statt haben, sich allmälig durch ihre ganze Länge hin fortpflanzen werden, so dafs die Figur ihrer Oberfläche durch eine Reihe grofser in Bewegung begriffener Wellen sich bilden wird, welche sich ohne Unterlafs erneuern, und ihre Länge in Zeit von einem halben Tage durchlaufen werden. Diese Wellen werden in jedem Punkte der Röhre eine Fluth und eine Ebbe bewirken,

welche

lche den vorigen Gesezen folgen werden;
r Zeiten der Fluth werden in eben dem
aſse später einfallen, als die Punkte von der
ndung sich mehr entfernen werden.
s von einer Röhre gesagt worden ist, läſst
ı auch auf die Flüsse anwenden, deren
erfläche, der entgegengesezten Bewegung
er Gewässer ungeachtet, durch ähnliche
llen steigt und fällt. Man bemerkt diese
llen in allen Flüssen nahe an ihrer Mün-
ıg; und an der Strasse *Pauxis* im Amazo-
flusse sind sie auf zweyhundert Meilen vom
ere noch merklich.

Wir wollen jezt die Wirkung des Monds
rachten, und sezen, dieses Gestirn bewege
ı gleichförmig in der Ebene des Aequators.
ist klar, daſs es im Weltmeere eine Ebbe
l Fluth bewirken müsse, die derjenigen
lich ist, welche aus der Wirkung der Sonne
steht, und die einen halben Mondstag zu
er Periode hat. Nun haben wir aber im
hergehenden Buche gesehen, daſs die ganze
vegung eines durch sehr kleine Kräfte
riebenen Systems die Summe der beson-
ı Bewegungen ist, welche jede Kraft
nders ihm würde eingedrückt haben.
zwey durch die Wirkungen der Sonne

und des Monds erregten partialen Fluthen vereinigen sich also ohne einander zu stören, und aus ihrer Vereinigung entsteht die Fluth, die wir in unsern Häfen beobachten.

Hieraus entstehen die merkwürdigsten Erscheinungen der Ebbe und Fluth. Der Augenblick der Mondsfluth ist nicht immer einerley mit dem der Sonnenfluth, weil ihre Perioden verschieden sind. Wenn zwey dieser Fluthen zusammen fallen, so wird die folgende Mondsfluth um den Ueberschufs eines halben Mondstags, über einen halben Sonnentag, *d.* i. um 1752″,5 hinter der Sonnenfluth zurückbleiben. Da diese Verspätungen von einem Tage zum andern sich anhäufen, so wird die durch den Mond bewirkte volle See mit der von der Sonne verursachten tiefen See zusammenfallen, und umgekehrt. Wenn die Mondsfluth mit der Sonnenfluth zusammenfällt, so ist die zusammengesezte Fluth am gröfsten; dies verursacht die grofsen Fluthen gegen die Syzygien. Wenn hingegen die volle See von dem einen dieser Gestirne mit der tiefen See von dem andern zusammenfällt, so ist die zusammengesezte Fluth am kleinsten; dies verursacht die kleinen Fluthen gegen die Quadraturen. Wenn die Sonnenfluth stärker ist, als

e Mondsfluth, so ist es sichtbar, dafs die
iten der gröfsten und der kleinsten Fluth zu-
mmengesezt, mit der Zeit zusammentreffen
erden, auf welche die Sonnenfluth fallen
ürde, wenn sie allein einträte. Wenn aber
e Mondsfluth stärker ist, als die Sonnenfluth,
fällt die kleinste zusammengesezte Fluth
it der von der Sonne bewirkten tiefen See
usammen, und folglich ist ihre Zeit von der
röfsten zusammengesezten Fluth um einen
iertelstag entfernt. Dies ist also ein ein-
aches Mittel, zu erkennen, ob die Monds-
uth gröfser oder kleiner, als die Sonnenfluth
st. Alle Beobachtungen geben einstimmig
u erkennen, dafs die Zeit der kleinsten Flu-
hen von der der gröfsten um einen Viertels-
ag unterschieden ist; folglich ist die Monds-
uth stärker, als die Sonnenfluth.

Wir haben im ersten Buche gesehen, dafs
er mittlere Werth der gröfsten totalen Fluth
on jedem Monate ohngefähr 18,13; und der
ittlere Werth der kleinsten 8,67 Fufs ist.
s ist leicht, nach den gehörigen Reductionen
araus zu schliefsen, dafs die mittlere Monds-
uth, welche dem beständigen Theile der
ondsparallaxe zugehört, dreymal kleiner
y als die mittlere Sonnenfluth; oder, was

auf *eins* hinausläuft, dafs die Wirkung des Monds zur Erhebung des Meerwassers das Dreyfache von der der Sonne sey.

Die Wirkung eines Gestirns, um ein flüssiges Element, das zwischen diesem Gestirne, und dem Mittelpunkte der Erde sich befindet, zu erheben, ist dem Unterschiede seiner Wirkung auf diesen Mittelpunkt und auf das Element gleich; und dieser Unterschied ist das Doppelte von dem Quotienten der Masse des Gestirns multiplicirt durch den Erdhalbmesser, und dividirt durch den Würfel der Entfernung dieses Gestirns vom Mittelpunkte der Erde. Dieser Quotient beträgt bey der Sonne, vermöge des fünften Kapitels, $\frac{1}{179}$ der Schwere, welche den Mond gegen die Erde treibt, multiplicirt mit dem Verhältnisse des Erdhalbmessers zu der Entfernung des Monds. Diese Schwere ist sehr nahe gleich der Summe der Massen der Erde und des Monds, dividirt durch das Quadrat der Entfernung des leztern; die Wirkung der Sonne zur Erhebung des Meerwassers ist folglich $89\frac{1}{2}$ mal kleiner, als die Summe der Massen der Erde und des Monds, multiplicirt durch den Erdhalbmesser, und dividirt durch den Würfel der Entfernung des Monds. Aber diese Wirkung ist nur ein Drit

il von der Wirkung des Monds, welche das
ppelte seiner Masse, multiplicirt mit dem
lhalbmesser, und dividirt durch den Wür-
seiner Entfernung ist; folglich verhält sich
Masse des Monds zur Summe der Massen
Monds und der Erde wie 3 zu 179, woraus
gt, dafs diese Masse sehr nahe $\frac{1}{58,7}$ von der
Erde ist. Da sein Volumen nur $\frac{1}{49,316}$
n dem der Erde ist, so ist seine Dichtigkeit
401, wenn man die mittlere Dichtigkeit
Erde zur Einheit annimmt, und das Ge-
cht 1 auf der Erde würde, auf die Oberfläche
Mondsgebracht, sich in 0,2291 verwandeln.

Wenn das Meer in jedem Augenblicke die
talt annähme, welche, dem Gleichge-
hte der auf dasselbe wirkenden Kräfte an-
nessen ist, so würde die gröfste totale Fluth
er dem Asquator ohngefähr drey Fufs haben,
l dies ist wirklich der mittlere Werth, den
n in dem grofsen Südmeere beobachtet.
r die grofse Verschiedenheit der Fluthen,
man auch in sehr nahen Häfen bemerkt,
eifst uns, dafs Localumstände die Gröfse
selben beträchtlich vermehren können.

Die Gröfse und das Gesez der Verände-

rungen der totalen Fluthen nahe bey ihrem Maximum und Minimum ist nach der Theorie der Schwere und nach den Beobachtungen völlig einerley. Ihre Zunahme bey ihrer Entfernung von dem Minimum ist das Doppelte ihrer Abnahme bey ihrer Entfernung von dem Maximum, wie die Beobachtungen es zeigen.

Weil die Mondsfluth stärker ist, als die Sonnenfluth, so muſs die zusammengesezte Fluth sich hauptsächlich nach der Mondsfluth richten, und man muſs in einer gegebenen Zeit eben so viele Fluthen haben, als obere oder untere Durchgänge des Monds durch den Meridian; und dies stimmt mit den Beobachtungen überein. Aber der Augenblick der zusammengesezten Fluth muſs um den Augenblick der Mondsfluth nach einem von den Lichtgestalten des Monds und von dem Verhältnisse seiner Wirkung zu der der Sonne abhängigen Geseze schwingen. Der erste dieser Augenblicke geht vor dem zweyten her von der gröſsten bis zur kleinsten Fluth, er folgt aber auf ihn von der kleinsten bis zur gröſsten, so daſs, da die mittlere Zeit der zusammengesezten Fluth mit der der Mondsfluth einerley ist, die mittlere Verspätung der Fluthen von einem Tage zum andern 3505″ beträgt.

Nach der Theorie also, wie nach den Beachtungen, ändert sich die Verspätung der athen, wie ihre Höhe, mit den Lichtgestal- des Monds. Die kleinste Verspätung trift t der gröfsten Höhe, und die gröfste Verspä- ig mit der kleinsten Höhe zusammen und, ch eine merkwürdige Uebereinstimmung, bt die Theorie für diese Verspätungen, von em Tage zum andern 2708″ und 5150″, n so wie die Beobachtungen. Diese Uebereinstimmung beweifst zugleich die Wahrheit ser Theorie und die Genauigkeit des angemmenen Verhältnisses zwischen den Wirngen des Monds und der Sonne. Aendert n dieses Verhältnifs ein wenig, so würde es n Beobachtungen der Höhen und der Zwiienzeiten der Fluthen bey weitem nicht nüge thun; diese geben es folglich mit ifser Genauigkeit.

Hier mufs eine wichtige Bemerkung angracht werden, von welcher die Erklärung hrerer Erscheinungen der Fluthen abhängt.

Wenn das vom Meere bedeckte Sphäroid durch Umdrehung entstandener Körper r, so würden die partialen Fluthen in dem genblicke des Durchgangs der sie verurhenden Gestirne durch den Mittagskreis

Statt haben: wenn also eine der Syzygien auf den Mittag fiele, so würden die beyden Fluthen, die vom Monde und die von der Sonne verursachte, mit diesem Augenblicke, als dem der gröfsten zusammengesezten Fluth, zusammenfallen. Diese gröfste Fluth würde auch noch an dem Tage der Syzygien selbst Statt haben, wenn die beyden partialen Fluthen auf die Durchgänge der sie verursachenden Gestirne durch den Mittagskreis sehr nahe nach einerley Zwischenzeit folgten. Da aber die tägliche Bewegung des Monds in seiner Bahn beträchtlich ist, so kann die Geschwindigkeit dieser Bewegung auf die Zeit, um welche dieses Gestirn vor der Mondsfluth hergeht, einen merklichen Einfluſs haben. In der That bringt die Wirkung der Sonne und des Monds auf ein Element des Meeres jeden Augenblick eine unendlich kleine Welle hervor, deren Anfang dieses Element ist, und die sich durch die ganze Ausdehnung des Meeres verbreitet; die Summe dieser Wellen macht die Bewegung dieser grofsen flüssigen Masse aus. Nun ist es einleuchtend, daſs die, deren Ursprung weit entfernt ist, eine beträchtliche Zeit brauchen müssen, um in unsere Häfen zu gelangen; die Fluth, die man daselbst be-

obachtet, ist also das Resultat der dem Meere einige Zeit vorher ertheilten Eindrücke. Obschon im Falle eines durch Umdrehung entstandenen vom Meere bedeckten Körpers diese Eindrücke einander so zugeordnet sind, dafs die Fluth im Augenblicke des Durchgangs des Gestirns durch den Mittagskreis selbst erfolgt, so kann sie doch, wenn die Tiefe des Meers unregelmäfsig ist, auf den Durchgang, der für ihre Ursache angesehen werden mufs, nach einem oder etlichen Tagen folgen; und da in dieser Zwischenzeit die Bewegung des Monds in seiner Bahn, sehr merklich ist, so kann die Zeit, um welche sein Durchgang durch den Mittagskreis früher erfolgt, als die Mondsfluth, von derjenigen sehr verschieden ausfallen, um welche der Durchgang der Sonne durch den Meridian früher erfolgt, als die Sonnenfluth.

Wir werden von diesem Unterschiede eine richtige Vorstellung haben, wenn wir uns, wie oben, eine weite, mit dem Meere in Gemeinschaft stehende, und unter dem Meridiane ihrer Mündung sich sehr weit in das veste Land hinein ziehende Röhre gedenken. Wenn men sezt, dafs an dieser Mündung die volle See im Augenblicke des Durchgangs des

Gestirns durch den Mittagskreis selbst Statt habe, und dafs sie 21 Stunden brauche, um an das Ende der Röhre zu gelangen, so übersieht man leicht, dafs an diesem lezten Punkte die Sonnenfluth eine Stunde nach dem Durchgange dieses Gestirns durch den Mittagskreis eintreten werde; da aber 2 Mondstage 2,07 Sonnentage ausmachen, so wird die Mondsfluth nur 30′ nach dem Durchgange des Monds durch den Mittagskreis erfolgen, so dafs zwischen den Zeiten, um welche die Mondsfluth und die Sonnenfluth nach den Durchgängen der sie verursachenden Gestirne folgen werden, ein Unterschied von 70′ Statt findet.

Hieraus folgt, dafs das Maximum und das Minimum der Fluth nicht an den Tagen der Syzygien und der Quadraturen selbst, sondern einen oder zwey Tage nachher Statt finden, wenn die Zwischenzeit, nach welcher die Mondsfluth auf des Monds Durchgang durch den Meridian folgt, mit der Zwischenzeit, nach welcher des Monds Durchgang auf den der Sonne folgt, zusammengenommen, der Zwischenzeit gleich ist, nach welcher die Sonnenfluth auf der Sonne Durchgang durch den Meridian folgt. So erfolgen

n dem vorigen Beyspiele dies Maximum und lies Minimum, welche bey der Mündung ler Röhre an den Tagen der Syzygien und ler Quadraturen selbst Statt haben, an ihrem Ende erst 21 Stunden nachher.

Durch Vergleichung einer grofsen Zahl on Beobachtungen, und durch verschiedene Methoden habe ich gefunden, dafs zu *Brest* ie Zwischenzeit, nach welcher die gröfste luth auf die Syzygien folgt, sehr nahe $1\frac{1}{2}$ age beträgt. Daraus folgt, dafs in diesem lafen die Sonnenfluth 18718″ nach der Sonne)urchgang, und die Mondsfluth 13466″ nach es Monds Durchgang durch den Meridian ein- ete. Die Zeiten der Fluthen sind also zu *Brest* die nämlichen, wie an dem Ende einer uit dem Meere in Gemeinschaft stehenden öhre, wenn man sich vorstellt, dafs an ihrer Mündung die partialen Fluthen in dem Augenblicke des Durchgangs der Gestirne durch len Mittagskreis selbst Statt haben, und dafs ie $1\frac{1}{2}$ Tage brauchen, um an das Ende derselben zu gelangen, wenn solches 18718″ östlicher, ls ihre Mündung angenommen wird. Uebermaupt haben mich Beobachtung und Theorie larauf geführt, jeden von unsern Häfen in rankreich, in Ansehung der Fluthen, als das

Ende einer Röhre zu betrachten, an deren Mündung die partialen Fluthen im Augenblicke des Durchgangs der Gestirne durch den Meridian selbst Statt haben, und sich in 1 Tagen an das Ende derselben fortpflanzen, welches man um eine, bey verschiedenen Häfen sehr verschiedene, Gröſse östlicher, als ihre Mündung, annehmen muſs.

Es ist zu bemerken, daſs der Unterschied der Zwischenzeiten, nach welchen die partialen Fluthen auf den Durchgang der sie verursachenden Gestirne durch den Mittagskreis folgen, die Erscheinungen der Ebbe und Fluth nicht ändert. Für ein System von Sternen, die sich in der Ebene des Aequators gleichförmig bewegen, schiebt er blos die unter der Voraussezung, daſs diese Zwischenzeiten gleich Null seyen, berechneten Erscheinungen um 1 $\frac{1}{2}$ Tage zurück.

Mehrere Philosophen haben das Zurückbleiben der Erscheinungen der Fluthen hinter den Lichtgestalten des Monds der Zeit zugeschrieben, die seine Wirkung braucht, um bis zur Erde zu gelangen; aber diese Hypothese kann mit der unbegreiflichen Wirksamkeit der Anziehungskraft, wovon man die Beweise am Ende dieses Buchs finden wird, nicht

bestehen. Also nicht der Zeit dieses Ueber-
gangs, sondern derjenigen, welche die dem
Meere von den Gestirnen ertheilten Eindrücke
brauchen, um in unsere Häfen zu gelangen,
ist dieses Zurückbleiben zuzuschreiben.

Bisher haben wir vorausgesezt, die Sonne
und der Mond bewegen sich in der Ebene des
equators gleichförmig; jezt wollen wir ihre
Bewegungen und ihre Entfernungen vom Mit-
telpunkte der Erde sich ändern lassen. Wenn
man die Ausdrücke ihrer Wirkung auf das
Meer entwickelt, so kann man jedes Glied der-
selben durch die Wirkung eines in einer kreis-
förmigen Bahn gleichförmig um die Erde be-
wegten Gestirns darstellen; es ist also leicht,
die den verschiedenen Ungleichheiten der
Sonne und des Monds zugehörige Ebbe und
Fluth nach den im Vorigen aufgestellten Grund-
sätzen zu bestimmen.

Wenn man auf solche Art die Erschei-
nungen der Fluthen der Analyse unterwirft,
so findet man, dafs die durch die Sonne und
den Mond bewirkten Fluthen im umgekehrten
Verhältnisse der Würfel ihrer Entfernungen
wachsen; die Fluthen müssen also, bey übri-
gens gleichen Umständen, in der Erdnähe des
Monds wachsen, und in seiner Erdferne ab-

nehmen. Diese Erscheinung ist zu *Brest* sehr merklich; die Vergleichung der Beobachtungen hat mir gezeigt, dafs auf 100 Secunden Aenderung in dem Halbmesser des Monds $1\frac{1}{2}$ Fufs Aenderung in der totalen Fluth kommen, wenn der Mond im Aequator ist; und dieses Resultat der Beobachtung stimmt mit dem der Theorie so genau überein, dafs man durch dieses Mittel das Gesez der mit der Entfernung des Monds zusammengehörigen Wirkung desselben auf das Meer hätte bestimmen können.

Die Veränderungen der Entfernung der Sonne von der Erde sind bey den Höhen der Fluthen merklich, aber viel weniger, als die der Entfernung des Monds, weil ihre Wirkung zur Erhebung des Meerwassers dreymal kleiner ist, und ihre Entfernung von der Erde in einem kleineren Verhältnisse sich ändert. Dieses Resultat der Theorie stimmt mit den Beobachtungen überein.

Da die Wirkung des Monds gröfser, und seine Bewegung schneller ist, wenn er näher bey der Erde ist, so mufs die zusammengesezte Fluth bey den Syzygien in der Erdnähe der Mondsfluth und diese selbst dem Durchgange des Monds durch den Meridian sich nähern; denn wir haben gesehen, dafs die par-

ale Fluth dem sie verursachenden Gestirne
ch um so viel mehr nähere, je schneller seine
ewegung ist. In der Erdnähe müssen also
ie Fluthen am Tage der Syzygien voreilen,
nd in der Erdferne zurückbleiben. Wir ha-
en im ersten Buche gesehen, dafs, nach den
eobachtungen, jede Minute der Vermehrung
der Verminderung in dem Mondshalbmesser
in Voreilen oder Zurückbleiben der vollen
ee von 354″ zur Folge hat, und dies ist sehr
ahe das nämliche, was die Theorie giebt.

Die Mondsparallaxe hat auch noch auf
ie Zwischenzeit zweyer auf einander folgen-
en Morgen- oder Abendfluthen gegen die Sy-
ygien, oder in der Nähe des Maximums der
luthen einen Einfluss.

Nach der Theorie bringt eine Minute
enderung in dem Mondshalbmesser 256″
enderung in dieser Zwischenzeit, genau so,
ie nach den Beobachtungen, hervor.

Diese beyden Erscheinungen haben in den
uadraturen auf gleiche Art Statt; aber die
heorie zeigt, dafs sie dort dreymal kleiner
nd, als in den Syzygien, und eben das bestät-
gen die Beobachtungen. Um die Ursache
avon zu begreifen, mufs man erwägen, dafs
s tägliche Zurückbleiben der Mondsfluth

zunimmt, wenn die Bewegung des Mon[illegible] schneller ist, wie dies in der Erdnähe Sta[illegible]t hat, und dafs das Zurückbleiben der Fluthe[illegible]n bey den Syzygien zunimmt, und sich der[illegible]n täglichen Zurückbleiben der Mondsfluth näher[illegible], wenn die Kraft des Monds zunimmt; die[illegible]e beyden Ursachen wirken also zusammen, d[illegible]e Zwischenzeit der Fluthen bey den Syzygie[illegible]n in der Erdnähe zu vergröfsern. In den Qua-draturen, wenn die Kraft des Monds zunimmt, vermindert sich das tägliche Zurückbleiben der Fluth und nähert sich dem Zurückbleiben der Mondsfluth; folglich wächst die Zwischenzeit der Fluthen durch die Geschwindigkeit der Bewegung des Monds in der Erdnähe, und nimmt ab durch die Zunahme der Kraft des Monds; da also alsdann diese beyden Ursachen einander entgegenwirken, so ist die Zunahme des Zurückbleibens der Fluth blos die Wirkung ihres Unterschieds, und aus diesem Grunde ist sie kleiner, als in den Syzygien.

Nach dieser Entwickelung der Theorie der Ebbe und Fluth des Meeres unter der Voraussezung, dafs die Sonne und der Mond sich in der Ebene des Aequators bewegen, wollen wir die Bewegungen dieser Gestirne betrachten, wie sie in der Natur wirklich beschaffen sind.

nd. Wir werden dabey aus ihren Abwei-
ungen neue Erscheinungen hervorgehen se-
n, welche, mit den Beobachtungen vergli-
ehen, die vorhergehende Theorie immer mehr
nd mehr bestättigen werden.

Dieser allgemeine Fall läfst sich auch noch
f den zurückführen, da mehrere Gestirne
ch gleichförmig in der Ebene des Aequators
wegten, aber man mufs diesen Gestirnen
hr verschiedene Bewegungen in ihren Bah-
n geben. Die einen bewegen sich langsam
denselben, und bringen eine Ebbe und Fluth
rvor, deren Periode von einem halben Tage
t; andere haben eine Umlaufsbewegung, die
r Hälfte von der Umdrehungsbewegung der
rde beynahe gleich ist, und diese bringen
ne Ebbe und Fluth hervor, die eine Periode
n ohngefähr einem Tage haben; andere
ndlich haben eine Umlaufsbewegung, die
r Umdrehungsbewegung der Erde beynahe
leich ist, und diese bringen eine Ebbe und
luth hervor, die eine Periode von einem
onate und von einem Jahre haben. Wir
ollen nun diese drey Arten von Fluthen un-
rsuchen.

Die erste schliefst nicht nur die vorhin
trachteten Schwingungen ein, welche von

den Bewegungen der Sonne und des Monds und den Veränderungen ihrer Entfernungen von der Erde abhangen, sondern noch andere, die von ihren Abweichungen abhängig sind. Wenn man diese der Analyse unterwirft, so findet man, dafs die totalen Fluthen der Syzygien der Nachtgleichen gröfser sind, als die der Syzygien der Sonnenstillstände, in dem Verhältnisse des Halbmessers zu dem Quadrate des Cosinus der Abweichung der Sonne oder des Monds gegen die Sonnenstillstände; man findet ferner, dafs die Fluthen der Quadraturen der Sonnenstillstände die der Quadraturen der Nachtgleichen in einem gröfsern Verhältnisse übertreffen, als das des Halbmessers zum Quadrate des Cosinus der Abweichung des Monds gegen die Quadraturen der Nachtgleichen ist. Diese Resultate der Theorie werden durch alle Beobachtungen bestättiget, welche über die Verminderung der Wirkung der Gestirne, nach dem Verhältnisse ihrer Entfernung vom Aequator, keinen Zweifel übrig lassen.

Die Abweichungen der Sonne und des Monds sind auch selbst an den Gesezen der Abnahme und des Wachsthums der Fluthen, von dem Maximum und Minimum an gerechnet, merklich. Ihre Abnahme beträgt nach

den Beobachtungen, wie nach der Theorie, ohngefähr ein Drittheil, und erfolgt schneller in den Syzygien der Nachtgleichen, als in den Syzygien der Sonnenstillstände; ihre Zunahme ist nach den Beobachtungen, wie nach der Theorie, ohngefähr zweymal schneller in den Quadraturen der Nachtgleichen, als in den Quadraturen der Sonnenstillstände.

Die Lage der Knoten der Mondsbahn ist auf gleiche Art an den Höhen der Fluthen, durch ihren Einfluſs auf die Abweichungen des Monds, merklich.

Die Bewegung dieses Gestirns in gerader Aufsteigung, welche in den Sonnenstillständen geschwinder, als in den Nachtgleichen ist, muſs die Mondsfluth dem Durchgange des Gestirns durch den Meridian nähern; die Zeit der Fluthen bey den Syzygien in den Nachtgleichen muſs also hinter der Zeit der Fluthen bey den Syzygien in den Sonnenstillständen zurückbleiben. Aus der nämlichen Ursache muſs die Zeit der Fluthen bey den Quadraturen in den Sonnenstillständen hinter der Zeit der Fluthen bey den Quadraturen in den Nachtgleichen zurückbleiben, und die Theorie giebt diese Verspätung ohngefähr viermal so groſs, als die erste.

Die Abweichungen der Sonne und des Monds haben auch noch einen Einfluſs auf die tägliche Verspätung der Fluthen in den Nachtgleichen und Sonnenstillständen; diese muſs gegen die Syzygien in den Sonnenstillständen gröſser seyn, als gegen die Syzygien in den Nachtgleichen; und noch vielmehr gröſser gegen die Quadraturen der Nachtgleichen, als gegen die Quadraturen der Sonnenstillstände, und in diesem zweyten Falle ist der Unterschied der Verspätungen viermal gröſser, als in dem ersten. Die Beobachtungen bestättigen diese verschiedenen Resultate der Theorie mit einer merkwürdigen Genauigkeit.

Die Fluthen der zweyten Art, deren Periode von einem Tage ist, sind dem Producte des Sinus durch den Cosinus der Abweichung der Gestirne proportionirt; sie sind gleich Null, wenn die Gestirne im Aequator sind, und wachsen mit ihrer Entfernung von demselben. Durch ihre Vereinigung mit den Fluthen der ersten Art machen sie die zwey Fluthen des nämlichen Tags ungleich. Aus dieser Ursache ist zu *Brest*, gegen die Syzygien des Winterstillstands, die Morgenfluth ohngefähr um 0,563 Fuſs gröſser, als die Abendfluth, und gegen die Syzygien des

Sommerstillstands um eben so viel kleiner, wie wir im ersten Buche gesehen haben. Eben diese Ursache macht auch gegen die Quadraturen der Herbstnachtgleiche die Morgenfluth um 0,419 Fuſs gröſser, als die Abendfluth, aber gegen die Quadraturen der Frühlingsnachtgleiche um eben so viel kleiner.

Ueberhaupt sind die Fluthen der zweyten Art in unsern Häfen nicht beträchtlich; ihre Gröſse ist unbestimmt, und hängt von Localumständen ab, welche sie vermehren, und zugleich die Fluthen der ersten Art so weit vermindern können, daſs sie ganz unmerklich werden. Wir wollen uns eine weite, durch ihre beyden Enden mit dem Meere in Gemeinschaft stehende Röhre vorstellen, so wird die Fluth in einem über dem Rande dieser Röhre gelegenen Hafen das Resultat der durch ihre beyden Enden fortgepflanzten wellenförmigen Bewegungen seyn. Nun kann es geschehen, daſs nach dem Verhältnisse der Lage des Hafens die wellenförmigen Bewegungen der ersten Art in solchen Zeiten dahin gelangen, daſs das Maximum der einen mit dem Minimum der andern zusammenfällt, und wenn sie überdies einander gleich sind, so ist klar, daſs, vermöge dieser wellenförmigen Bewegungen, in

diesem Hafen keine Ebbe und Fluth Statt haben wird. Aber eine durch die wellenförmigen Bewegungen der zweyten Art bewirkte Fluth wird man daselbst haben; und da diese eine zweymal längere Periode haben, so werden sie nicht so übereinstimmen, dafs das Maximum derer, die durch die eine Mündung kommen, mit dem Minimum derer, die durch die andere kommen, zusammenträfe. In diesem Falle wird man gar keine Ebbe und Fluth haben, wenn die Sonne und der Mond in der Ebene des Aequators seyn werden; aber die Fluth wird merklich werden, wenn der Mond sich von dieser Ebene entfernen wird; und alsdann wird man täglich nur *eine* vom Monde bewirkte Ebbe und Fluth haben, so dafs, wenn die Fluth beym Untergange des Monds erfolgt, die Ebbe bey seinem Aufgange eintreten wird. Diese sonderbare Erscheinung ist zu *Baza*, einem Hafen des Königreichs *Tunkin*, und an einigen andern Orten, beobachtet worden. Es ist wahrscheinlich, dafs in den verschiedenen Häfen der Erde gemachte Beobachtungen alle zwischen die Fluthen zu *Baza* und die in unsern Häfen fallende Verschiedenheiten darbieten würden.

Wir wollen endlich die Fluthen der di

ten Art betrachten, deren Perioden sehr lang und von der Umdrehung der Erde unabhängig sind. Wären diese Perioden von unendlicher Dauer, so würden diese Fluthen keine andere Wirkung haben, als dafs sie die beständige Gestalt des Meers veränderten, welches bald in den Zustand des Gleichgewichts kommen würde, der eine Folge von den sie verursachenden Kräften wäre. Man übersieht aber leicht, dafs die Länge dieser Perioden die Wirkung dieser Fluthen sehr nahe zur nämlichen machen müsse, wie in dem Falle, wenn sie unendlich wäre; man kann also das Meer betrachten, als wenn es beständig im Gleichgewichte wäre unter der Einwirkung der erdichteten Gestirne, welche die Fluthen der dritten Art hervorbringen, und sie unter dieser Voraussezung bestimmen. Diese Fluthen sind sehr klein; indessen sind sie zu *Brest* doch merklich, und dem Resultate der Rechnung gemäfs.

Man sieht aus dieser Darstellung die Uebereinstimmung der auf das Gesez der allgemeinen Schwere gegründeten Theorie mit den Erscheinungen der Höhen und der Zwischenzeiten der Fluthen. Hätte die Erde keinen Trabanten, und wäre ihre Bahn kreisförmig und läge sie in der Ebene des Aequators, so hätten

wir zur Erkenntniſs der Wirkung der Sonne auf das Meer kein anderes Hülfsmittel, als die Zeit der vollen See, die täglich die nämliche wäre, und das Gesez ihrer Entstehung. Aber die Wirkung des Monds bringt durch ihre Verbindung mit der der Sonne, in den Fluthen Veränderungen hervor, die sich auf seine Lichtgestalten beziehen, und deren Uebereinstimmung mit den Beobachtungen der Theorie der Schwere eine groſse Wahrscheinlichkeit giebt. Alle Ungleichheiten der Bewegung der Abweichung und der Entfernung dieser zwey Gestirne veranlassen eine groſse Menge von Erscheinungen, welche die Beobachtung bekannt gemacht hat, und welche diese Theorie gegen alle Angriffe sicher stellen. So dienen also die Verschiedenheiten in der Wirkung der Ursachen, um das Daseyn der lezteren vestzusezen. Da die Wirkung der Sonne und des Monds auf das Meer, als eine nothwendige Folge der durch alle himmlischen Erscheinungen erwiesenen allgemeinen Attraction, durch die Erscheinungen der Ebbe und Fluth eine directe Bestätigung erhält, so ist sie keinem Zweifel mehr unterworfen. Sie ist jezt zu einem solchen Grade der Evidenz gebracht, daſs alle Gelehrten, die von diesen Erscheinungen

terrichtet, und in der Geometrie und Mecha-
k geübt genug sind, um die Verhältnisse der-
lben zu dem Geseze der allgemeinen Schwere
i begreifen, darüber völlig einverstanden sind.

Eine lange Reihe von noch genaueren
eobachtungen, als die bisher gemachten,
ird die bereits bekannten Elemente berichti-
n, den Werth der noch ungewissen vest-
zen, und die bis jezt in Fehlern der Beobach-
ngen verwickelten Erscheinungen enthüllen.
ie Kenntnifs der Erscheinungen der Ebbe
d Fluth ist eben so wichtig, als die der
ngleichheiten der himmlischen Bewegungen,
d verdient eben so sehr die Aufmerksamkeit
er Beobachter.

Man hat verabsäumt, sie mit der gehörigen
enauigkeit zu verfolgen, wegen der Unre-
elmäfsigkeiten, die sie zeigen; aber ich kann
ach einer reifen Prüfung versichern, dafs die-
e Unregelmäfsigkeiten verschwinden, wenn
nan die Beobachtungen vervielfältigt. Zu
Brest, dessen Lage zu Beobachtungen dieser
Art sehr günstig ist, braucht ihre Anzahl zu
ieser Absicht nicht einmal sehr beträchtlich
u seyn.

Ich habe nun noch von der Methode zu
prechen, nach welcher man für jeden Tag

die Zeit der Fluth bestimmen kann. Wir erinnern uns, daſs jeder unserer Häfen betrachtet werden kann, als an dem Ende einer Röhre liegend, an deren Mündung die partialen Fluthen im Augenblicke des Durchgangs durch den Mittagskreis selbst anlangen, und 1 ½ Tage Zeit brauchen, um an ihr Ende, das man um eine gewisse Anzahl Stunden östlicher, als ihre Mündung, annehmen muſs, zu gelangen; diese Zahl nenne ich die *Grundzeit* (*heure fondamentale*) des Hafens. Man kann sie leicht aus der Zeit der Einrichtung (établissement) des Hafens herleiten, wenn man bedenkt, daſs die leztere die Zeit der Fluth ist, da sie mit einer der Syzygien zusammenfällt.

Da das Zurückbleiben der Fluthen von einem Tage zum andern, alsdann 2708″ beträgt, so wird es für 1 ½ Tage 3955″ betragen; diese Gröſse muſs man zur Zeit der Einrichtung hinzusezen, um die Grundzeit zu erhalten.

Wenn man nun die Zeit der Fluthen an der Mündung um die Summe von 15 Stunden und der Grundzeit vermehrt, so erhält man die Zeiten der zugehörigen Fluthen in dem Hafen. Die Aufgabe beruhet also auf der Bestimmung der Zeit der Fluthen an einem Orte von bekannter Länge, unter der Voraussezung,

dafs die partialen Fluthen im Augenblicke des Durchgangs der Gestirne durch den Mittagskreis eintreten. Die Analysis giebt dafür sehr einfache Formeln, die sich leicht in Tafeln auflösen lassen, welche mit Nuzen in die Schifferkalender eingerückt werden könnten.

Eilftes Kapitel.

Von der Beständigkeit des Gleichgewichts der Meere.

Mehrere unregelmäfsige Ursachen, wie die Winde und die Erdbeben, erschüttern das Meer, heben es auf grofse Höhen, und treiben es zuweilen aus seinen Grenzen. Indessen zeigt uns die Beobachtung, dafs es bestrebt ist, seinen Zustand des Gleichgewichts wieder anzunehmen, und dafs die Reibungen und Widerstand aller Art, ohne die Wirkung der Sonne und des Monds, es bald wieder in denselben zurückbringen würden. Dies Bestreben macht das *veste* oder *beständige* Gleichgewicht aus, wovon im dritten Buche die Rede war. Wir haben gesehen, dafs die Beständigkeit des Gleichgewichts eines Systems

von Körpern *absolut* seyn, oder Statt finden könne, was für kleine Störungen dieses immer erfahren mag; es kann aber auch blos *relativ* und von der Beschaffenheit seiner ersten Erschütterung abhängig seyn. Von welcher Art ist nun die Beständigkeit des Gleichgewichts der Meere? Dies können uns die Beobachtungen nicht mit völliger Gewifsheit lehren; denn obschon das Weltmeer, bey der fast unendlichen Manchfaltigkeit der Erschütterungen, die es durch die Wirkung unregelmäfsiger Ursachen leidet, immer ein Bestreben nach seinem Zustande des Gleichgewichts zeigt, so kann man doch besorgen, es möchte eine ausserordentliche Ursache ihm eine Erschütterung mittheilen, welche bey ihrem Ursprunge unbeträchtlich wäre, aber sich mehr und mehr verstärkte, und es bis über die höchsten Berge erhöbe; welches mehrere Erscheinungen der Naturgeschichte erklären würde. Es ist also von Wichtigkeit, die zur absoluten Beständigkeit des Gleichgewichts der Meere nothwendigen Bedingungen aufzusuchen, und zu erforschen, ob diese Bedingungen in der Natur Statt haben. Dadurch, dafs ich diesen Gegenstand der Analysis unterwarf, versicherte ich mich, dafs das Gleichgewicht des Meeres be-

indig sey, wenn seine Dichtigkeit kleiner , als die mittlere Dichtigkeit der Erde, wel- es sehr wahrscheinlich ist; denn es ist natür- h, zu denken, dafs seine Schichten um so el dichter seyen, je näher sie ihrem Mittel- nkte liegen. Wir haben aufserdem gesehen, fs dies durch die Messungen des Pendels und r Meridiangrade wie auch durch die beobach- te Attraction der Berge erwiesen ist. Das eer ist also in einem beständigen Zustande s Gleichgewichts, und wenn es, woran nicht ohl zu zweifeln ist, das veste Land, das sich ut zu Tage weit über seinen Wasserspiegel hebt, einmal bedeckt hat, so mufs man die rsache davon anderswo, als in dem Mangel er Beständigkeit seines Gleichgewichts suchen.

Zwölftes Kapitel.

Von den Schwingungen der Atmosphäre.

Um zum Meere zu gelangen, geht die Wir- ung der Sonne und des Monds durch die tmosphäre, welche folglich den Einfluſs da- on erfahren, und ähnlichen Bewegungen, wie ie des Meeres sind, unterworfen seyn mufs. lieraus entstehen Winde und Schwingungen a dem Barometer, die mit der Ebbe und Fluth

Wenn man alle Ursachen betrachtet, welche das Gleichgewicht der Atmosphäre stören, ihre grofse Beweglichkeit, die eine Folge ihrer Flüssigkeit und ihrer Federkraft ist, den Einfluſs der Kälte und Wärme auf ihre Elasticität, die ungeheure Menge von Dünsten, die sie wechselsweise aufnimmt, und wieder von sich giebt, endlich die Veränderungen, welche die Umdrehung der Erde in der relativen Geschwindigkeit ihrer Theilchen blos dadurch hervorbringt, daſs sie nach der Richtung der Meridiane ihre Stellen verändern; so wird man sich über die Unbeständigkeit und Veränderlichkeit ihrer Bewegungen nicht wundern, die sich schwerlich werden unter sichere Geseze bringen lassen.

Dreyzehntes Kapitel.

Von dem Vorrücken der Nachtgleichen und dem Wanken der Erdaxe.

Alles ist in der Natur verbunden, und ihre allgemeinen Geseze verknüpfen auch Erscheinungen mit einander, die nicht in der geringsten Verbindung zu stehen scheinen. So verursacht die Umdrehung des Erdsphäroids die Abplattung desselben an den Polen, und diese

Abplat-

›plattung, verbunden mit der Wirkung der
nne und des Monds, bewirkt das Vorrücken
r Nachtgleichen, welches vor der Entdeckung
r allgemeinen Schwere, auf die tägliche Be-
egung der Erde keine Beziehung zu haben
hien.

Wir wollen uns diesen Planeten als ein
eichartiges, an seinem Aequator aufgetriebe-
:s, Sphäroid vorstellen. Man kann ihn als-
ın betrachten als entstanden aus einer Kugel
›n einem der Polaraxe gleichen Durchmesser,
ıd einem diese Kugel bedeckenden Meniscus,
ssen gröfste Dicke an dem Aequator des
phäroids wäre. Die Theilchen dieses Menis-
ıs können angesehen werden, als eben so viele
leine Monde, die aneinander hangen, und ihre
mläufe in einer der Umdrehungszeit der Erde
leichen Zeit machen. Die Knoten aller ihrer
ahnen müssen also, vermöge der Wirkung der
onne, zurückgehen, wie die Knoten der
Iondsbahn; und aus diesen rückläufigen Be-
egungen mufs, vermöge der Verbindung aller
ieser Körper eine zusammengesezte Bewe-
ung in dem Meniscus entstehen, welche seine
)urchschnittspunkte mit der Ekliptik zurück-
ehen macht. Da aber dieser Meniscus an der
ugel hängt, die er bedeckt, so theilt er seine

rückläufige Bewegung mit ihr, wodurch ihre Bewegung beträchtlich aufgehalten wird; die Durchschnittspunkte des Aequators und der Ekliptik, d. h. die Nachtgleichen, müssen folglich, vermöge der Wirkung der Sonne, eine rückläufige Bewegung haben. Wir wollen versuchen die Geseze und die Ursache derselben zu erforschen.

Zu dem Ende betrachten wir die Wirkung der Sonne auf einen in der Ebene des Aequators liegenden Ring. Wenn man sich die Masse dieses Gestirns als gleichförmig vertheilt auf der Peripherie ihrer für kreisförmig angenommenen Bahn vorstellt, so übersieht man leicht, daſs die Wirkung dieser körperlichen Bahn die mittlere Wirkung der Sonne vorstellen werde. Wird diese Wirkung auf jeden der über die Ekliptik erhabenen Punkte des Rings in zwey zerlegt, deren eine in der Ebene des Rings liegt, die andere auf dieser Ebene lothrecht ist, so ist leicht, einzusehen, daſs das Resultat dieser lezteren Wirkungen auf alle diese Punkte auf der Ebene selbst lothrecht sey, und in dem Durchmesser des Rings liege, der auf seiner Knotenlinie lothrecht ist. Die Wirkung der Sonnenbahn auf den unter der Ekliptik liegenden Theil des Rings bringt auf ähnliche Art

ein auf der Ebene des Rings lothrechtes und in dem untern Theile eben dieses Durchmessers liegendes Resultat hervor. Diese zwey Resultate sind bestrebt, den Ring der Ekliptik zu nähern, indem sie ihn auf seiner Knotenlinie in Bewegung sezen; seine Neigung gegen die Ekliptik würde also durch die mittlere Wirkung der Sonne abnehmen, und seine Knoten würden vest seyn, ohne die Umdrehungsbewegung des Rings, von welchem wir hier annehmen, dafs er sich in einerley Zeit mit der Erde umdrehe. Aber diese Bewegung erhält dem Ringe eine beständige Neigung gegen die Ekliptik, und verwandelt die Wirkung des Einflusses der Sonne in eine rückläufige Bewegung der Knoten; sie zieht diesen Knoten eine Veränderung zu, welche, ohne sie, bey der Neigung Statt finden würde, und giebt der Neigung die Beständigkeit, welche bey den Knoten Statt finden würde. Um die Ursache dieser sonderbaren Veränderung zu begreifen, wollen wir die Lage des Rings sich unendlich wenig ändern lassen, so dafs die Ebenen seiner beyden Lagen sich nach der Richtung des auf der Knotenlinie lothrechten Durchmessers schneiden. Man kann am Ende eines jeden Augenblicks die Bewegung eines jeden seiner

Punkte in zwey zerlegen, deren eine im folgenden Augenblicke allein bleiben, die andere aber auf der Ebene des Rings lothrecht seyn, und vernichtet werden soll; und es ist klar, dafs das Resultat dieser zweyten Bewegungen, auf alle Punkte des oberen Theils des Ringes bezogen, auf seiner Ebene lothrecht seyn, und in dem vorhin betrachteten Durchmesser liegen werde, welches in Ansehung des untern Theils des Ringes auf gleiche Art Statt findet. Damit dieses Resultat durch die Wirkung der Sonnenbahn aufgehoben, und der Ring, vermöge dieser Kräfte, im Gleichgewichte um seinen Mittelpunkt erhalten werde, müssen sie einander entgegengesezt, und ihre Momente in Beziehung auf diesen Punkt gleich seyn. Die erste dieser Bedingungen fordert, dafs die angenommene Veränderung der Lage des Rings rückläufig sey; die zweyte Bedingung bestimmt die Gröfse dieser Veränderung, und folglich auch die Geschwindigkeit der rückläufigen Bewegung seiner Knoten. Es ist leicht einzusehen, dafs diese Geschwindigkeit der Masse der Sonne, dividirt durch den Würfel ihrer Entfernung von der Erde und multiplicirt durch den Cosinus der Schiefe der Ekliptik, proportionirt sey.

Da die Ebenen des Rings in zwey auf ein-
der folgenden Lagen sich nach der Richtung
nes auf der Knotenlinie lothrechten Durch-
essers schneiden, so folgt, dafs die Neigung
eser bey den Ebenen gegen die Ekliptik be-
indig ist; die Neigung des Rings ändert sich
o, vermöge der mittleren Wirkung der
nne, nicht.

Was wir so eben von einem Ringe gese-
n haben, das beweifst die Analysis von je-
m von einer Kugel wenig unterschiedenen
häroide. Die mittlere Wirkung der Sonne
ingt in den Nachtgleichen eine der Masse
ses Gestirns, dividirt durch den Würfel
ner Entfernung, und multiplicirt durch
n Cosinus der Schiefe der Ekliptik propor-
nirte Bewegung hervor. Diese Bewegung
rückläufig, wenn das Sphäroid an seinen
len abgeplattet ist; ihre Geschwindigkeit
ngt von der Abplattung des Sphäroids ab;
r die Neigung des Aequators gegen die
liptik bleibt immer die nämliche.

Die Wirkung des Monds macht gleich-
s die Knoten des Erdäquators in der Ebe-
seiner Bahn zurückgehen; da aber die
ge dieser Ebene und ihre Neigung gegen
n Aequator, vermöge der Wirkung der

Sonne, sich ununterbrochen ändert, und die durch die Wirkung des Monds verursachte rückläufige Bewegung der Knoten des Aequators in der Mondsbahn dem Cosinus dieser Neigung proportionirt ist, so ist diese Bewegung veränderlich. Aufserdem macht sie, wenn man sie gleichförmig annimmt, dafs die rückläufige Bewegung der Nachtgleichen und die Neigung des Aequators gegen die Ekliptik sich nach der Lage der Mondsbahn ändert. Eine sehr einfache Rechnung ist hinreichend, um zu sehen, dafs aus der Wirkung des Monds, verbunden mit der Bewegung der Ebene seiner Bahn, folgt 1) eine mittlere Bewegung bey den Nachtgleichen, die derjenigen gleich ist, welche dieses Gestirn verursachen würde, wenn es sich in der Ebene der Ekliptik selbst bewegte; 2) eine Ungleichheit, die von dieser rückläufigen Bewegung abzuziehen, und dem Sinus der Länge des aufsteigenden Knoten der Mondsbahn proportionirt ist; 3) eine dem Cosinus eben dieses Winkels proportionirte Verminderung der Schiefe der Ekliptik. Diese zwey Ungleichheiten werden zugleich dargestellt durch die Bewegung des Endpunkts der bis an den Himmel verlängerten Erdaxe

auf einer kleinen Ellipse, nach den im eilften Kapitel des ersten Buchs aufgestellten Gesezen; wobey die groſse Axe dieser Ellipse zur kleinen sich verhält, wie der Cosinus der Schiefe der Ekliptik zum Cosinus des Doppelten dieser Schiefe.

Aus dem eben Beygebrachten begreift man die Ursache des Vorrückens der Nachtgleichen, und des Wankens der Erdaxe; aber eine genaue Berechnung, und die Vergleichung ihrer Resultate mit den Beobachtungen sind der Probirstein einer Theorie. Die Theorie der Schwere verdankt Dalembert en den Vortheil, in Ansehung der beyden vorhergehenden Erscheinungen auf diese Art bestättiget worden zu seyn. Dieser groſse Geometer hat zuerst durch eine sehr schöne Analyse die Bewegungen der Erdaxe, für jede beliebige Gestalt und Dichtigkeit der Schichten des Erdsphäroids bestimmt, und nicht nur mit den Beobachtungen übereinstimmende Resultate gefunden, sondern auch die wahren Dimensionen der kleinen Ellipse, welche der Erdpol beschreibt, bekannt gemacht, worüber Bradley's Beobachtungen noch einige Ungewiſsheit zurückliefsen.

Die Einflüsse eines Gestirns auf die Be-
wegung der Erdaxe und auf die der Meer-e
sind beyde der Masse des Gestirns, dividirt
durch den Würfel seiner Entfernung von der
Erde proportionirt. Da das Wanken dieser
Axe blos allein der Wirkung des Monds zu-
zuschreiben ist, während das mittlere Vor-
rücken der Nachtgleichen das Resultat der ver-
einigten Wirkungen der Sonne und des Monds
ist, so ist klar, dafs die beobachteten Grö-
sen dieser zwey Erscheinungen das Verhält-
nifs dieser Wirkungen geben müssen. Sez
man mit Bradley das jährliche Vorrück
der Nachtgleichen auf 154″, 4 und die ga
Gröfse des Wankens auf 55″, 6; so findet
die Wirkung des Monds sehr nahe dem
pelten von der der Sonne gleich. Ab
kleiner Unterschied in der Gröfse des
kens bringt einen beträchtlichen in de
hältnisse der Wirkungen dieser bey
stirne hervor; und um dieses Verhäl
Zahl 3 gleich zu machen, wie es
obachtungen der Ebbe und Fluth
braucht man nur die ganze Gröfse
kens auf 62″, 2 zu fezen. Maske
sie, da er Bradley's Beobach
neue untersuchte, 58″, 6 grofs,

Resultate, welches die Erscheinungen der Ebbe und Fluth geben, nur um 3″, 6 unterschieden ist.

Da ein so kleiner Unterschied bey den Beobachtungen der Fixsterne fast unmerklich ist, so läfst sich das Verhältnifs der Wirkungen des Monds und der Sonne viel besser durch die Ebbe und Fluth bestimmen. Es schien mir daher, dafs man die Gleichung der Nutation auf 31″, 1; die der Präcession auf 58″, 2; und die Mondsgleichung der Sonnentafeln auf 27″, 5 fezen müsse.

Die Erscheinungen der Präcession und Nutation verbreiten ein neues Licht über die Beschaffenheit des Erdsphäroids; sie geben eine Grenze der Abplattung der für elliptisch angenommenen Erde, und es folgt daraus, dafs diese Abplattung nicht über $\frac{1}{304}$ ist, welches mit den Pendelversuchen übereinstimmt. Wir haben im siebenten Kapitel gesehen, dafs der Ausdruck des Radius Vector des Erdsphäroids Glieder enthält, welche, ob sie schon an sich selbst und an der Länge des Pendels unmerklich sind, doch bey den Meridiangraden eine sehr merkliche Abweichung von der elliptischen Gestalt bewirken. Diese Glieder verschwinden gänzlich aus den Wer-

then der Präcession und Nutation, und daher stimmen diese Erscheinungen mit den Pendelversuchen überein. Das Daseyn dieser Glieder vereinigt also die Beobachtungen der Mondsparallaxe, die des Pendels und der Meridiangrade, und die Erscheinungen der Präcession und Nutation.

Was für eine Gestalt und Dichtigkeit man den verschiedenen Erdschichten immer geben, und welche von den beyden Voraussezungen man annehmen mag, dafs die Erde ein durch Umdrehung entstandener Körper sey, oder nicht, so kann man, wenn sie nur von einer Kugel nicht viel unterschieden ist, immer einen durch Umdrehung entstandenen elliptischen Körper angeben, bey welchem die Präcession und Nutation die nämlichen wären. So sind bey Bouguer's Hypothese, wovon im siebenten Kapitel die Rede war, und nach welcher die Zunahmen der Grade der vierten Potenz des Sinus der Breite proportionirt sind, diese Erscheinungen genau die nämlichen, wie wenn die Erde ein Ellipsoid wäre, das eine Ellipticität von $\frac{1}{183}$ hätte, und wir haben gesehen dafs die Beobachtungen ihr keine gröfsere Ellipticität, als, von $\frac{1}{305}$ zu geben verstatten. Die-

se Beobachtungen stimmen also mit den Pendelbeobachtungen überein, die Unstatthaftigkeit dieser Hypothese darzuthun.

Wir haben in dem Vorhergehenden vorausgesezt, dafs die ganze Erde ein vester Körper sey. Da aber dieser Planet grofsentheils mit den Gewässern des Meeres bedeckt ist, so entsteht die Frage, ob nicht die Wirkung dieser die Erscheinungen der Präcession und Nutation ändern müsse? Die Untersuchung dieser Frage ist von Erheblichkeit.

Da die Gewässer des Meeres vermöge ihrer Flüssigkeit den Attractionen der Sonne und des Monds nachgeben, so scheint es auf den ersten Anblick, ihre Gegenwirkung könne auf die Bewegungen der Erdaxe keinen Einfluss haben.

Auch Dalembert, und alle Geometer, welche sich nach ihm mit diesen Bewegungen beschäftigten, haben sie gänzlich aufser Acht gelassen; ja sie sind sogar davon ausgegangen, um die beobachteten Gröfsen der Präcession und Nutation mit den Messungen der Erdgrade zu vereinigen. Indessen zeigt uns eine tiefer eingehende Untersuchung dieses Gegenstandes, dafs die Flüssigkeit der Gewässer kein zureichender Grund ist, ihren

Einfluſs auf das Vorrücken der Nachtgleichen auſser Acht zu lassen. Denn wenn sie auf der einen Seite der Wirkung der Sonne und des Monds folgen, so führt auf der andern Seite die Schwere sie ununterbrochen zu dem Zustande des Gleichgewichts zurück, und erlaubt ihnen nicht mehr, als ganz kleine Schwingungen zu machen. Es ist also möglich, daſs sie durch ihre Attraction und ihren Druck auf das von ihnen bedeckte Sphäroid der Erdaxe, wenigstens zum Theile, die Bewegungen beybringen, die sie von ihnen erhalten würde, wenn sie sich verdichten sollten. Man kann sich überdies durch eine sehr einfache Schluſsreihe überzeugen, daſs ihre Gegenwirkung von der nämlichen Ordnung ist, wie die directe Wirkung der Sonne und des Monds auf den vesten Theil der Erde.

Wir wollen uns diesen Planeten als gleichartig und von einerley Dichtigkeit mit dem Meere vorstellen, und sezen, das Wasser nehme in jedem Augenblicke die dem Gleichgewichte der Kräfte, wovon es getrieben wird, angemessene Gestalt an. Wenn bey diesen Voraussezungen die Erde plözlich ganz flüssig würde, so würde sie die nämliche Figur

behalten, und alle ihre Theile würden einander das Gleichgewicht halten; die Umdrehungsaxe würde also kein Bestreben, sich zu bewegen haben, und es ist klar, dafs dies auch in dem Falle noch bestehen müsse, wo ein Theil dieser Masse bey seiner Verdichtung, das vom Meere bedeckte Sphäroid bilden würde. Die vorhergehenden Hypothesen dienen den *Newtonischen* Theorien von der Gestalt der Erde und der Ebbe und Fluth des Meeres zur Grundlage. Es ist sehr merkwürdig, dafs dieser grofse Geometer unter der unendlichen Menge derer, die man über diese Gegenstände aufstellen kann, gerade zwey solche gewählt hat, welche weder Präcession noch Nutation geben, da alsdann die Gegenwirkung des Wassers die Wirkung des Einflusses der Sonne und des Monds auf den Kern der Erde aufhebt, wie auch immer seine Figur beschaffen seyn mag. Es ist wahr, dafs diese beyden Hypothesen, und besonders die leztere, der Natur nicht gemäfs sind; aber man sieht *a priori*, dafs die Folge von der Gegenwirkung des Wassers, obschon von derjenigen unterschieden, welche bey Newtons Voraussezungen Statt hat, doch von der nämlichen Ordnung ist.

Die Untersuchungen, welche ich über die Schwingungen des Meeres angestellt habe, haben mich in den Stand gesezt, diese Folge der Gegenwirkung des Wassers nach den wahren Voraussezungen der Natur zu bestimmen. Sie haben mich nämlich auf den merkwürdigen Lehrsaz geführt, dafs, *wie auch das Gesez der Tiefe des Meeres beschaffen, und das von demselben bedeckte Sphäroid gestaltet seyn mag, die Erscheinungen der Präcession und Nutation die nämlichen sind, wie wenn das Meer eine veste Masse mit diesem Sphäroide ausmachte.*

Wenn die Sonne und der Mond allein auf die Erde wirkten, so würde die mittlere Neigung der Ekliptik gegen den Aequator beständig seyn; wir haben aber gesehen, dafs die Wirkung der Planeten die Lage der Erdbahn beständig ändere, und dafs daraus in ihrer Schiefe gegen den Aequator eine Abnahme entstehe, die durch alle älteren und neueren Beobachtungen bestättiget wird. Die nämliche Ursache giebt den Nachtgleichen eine jährliche rechtläufige Bewegung von 0″,5707; folglich wird die durch die Wirkung der Sonne und des Monds verursachte jährliche Präcession durch die Wirkung der Planeten um diese

Gröfse vermindert, und ohne diese Wirkung würde sie 155″,66 betragen. Diese Wirkungen des Einflusses der Planeten sind von der Abplattung des Erdsphäroids unabhängig; aber die Wirkung der Sonne und des Monds auf dieses Sphäroid mufs sie selbst und ihre Geseze abändern.

Wenn wir die Lage der Erdbahn, und die Bewegung ihrer Umdrehungsaxe auf eine veste Ebene beziehen, so ist klar, dafs die Wirkung der Sonne, vermöge der Veränderungen der Ekliptik, bey dieser Axe eine der Nutation ähnliche Schwingungsbewegung hervorbringen wird, mit dem Unterschiede, dafs, da die Periode dieser Veränderungen unvergleichbar länger, als die der Veränderungen der Mondsbahn ist, die Gröfse der correspondirenden Schwingung bey der Erdaxe viel gröfser ist, als die der Nutation. Die Wirkung des Monds verursacht bey eben dieser Axe eine ähnliche Schwingung, weil die mittlere Neigung seiner Bahn gegen die Erdbahn beständig ist. Die Ortsveränderung der Ekliptik bringt also in Verbindung mit der Wirkung der Sonne und des Monds auf die Erde in ihrer Schiefe gegen den Aequator eine Veränderung hervor, die von derjenigen sehr

verschieden ist, wie sie blos vermöge dieser Ortsveränderung allein Statt finden würde; die ganze Gröſse dieser Veränderung wäre nämlich vermöge der lezteren ohngefähr 12 Grade, und die Wirkung der Sonne und des Monds bringt sie etwa auf 3 Grade herunter.

Die durch eben diese Ursachen bewirkte Veränderung der Bewegung der Nachtgleichen ändert die Dauer des tropischen Jahres in verschiedenen Jahrhunderten. Diese Dauer nimmt ab, wenn diese Bewegung zunimmt, welches gegenwärtig Statt hat, und das jezige Jahr ist ohngefähr um 12″ kürzer, als zur Zeit des Hipparchus. Aber diese Veränderung in der Länge des Jahres hat Grenzen, welche durch die Wirkung der Sonne und des Monds auf das Erdsphäroid noch näher zusammengerückt werden. Die Weite dieser Grenzen würde, vermöge der Ortsveränderung der Ekliptik allein, ohngefähr 500″ seyn; durch diese Wirkung aber wird sie auf 120″ herunter gesezt.

Endlich ist auch der Tag selbst, in dem Sinne, wie wir ihn im ersten Buche bestimmt haben, vermöge der Ortsveränderung der Ekliptik verbunden mit der Wirkung der Sonne und des Monds, sehr kleinen Veränderun-

derungen unterworfen, die, obschon die Theorie sie anzeigt, den Beobachtern immer unmerklich seyn werden. Nach dieser Theorie ist die Umdrehung der Erde gleichförmig und die mittlere Länge des Tags kann für beständig angenommen werden; dies Resultat ist für die Astronomie sehr wichtig, weil diese Länge zum Maafse für die Zeit und für die Umläufe der Himmelskörper dient. Wenn sie sich ändern sollte, so würde man solches an der Dauer dieser Umläufe erkennen, welche im Verhältnisse ihrer Länge zu- oder abnehmen würden; aber die Wirkung der Himmelskörper bringt darin keine merkliche Aenderung hervor.

Indessen könnte man glauben, die Winde, welche zwischen den Wendekreisen beständig von Osten nach Westen wehen, dürften durch ihre Wirkung auf das veste Land und die Gebirge die Geschwindigkeit der Umdrehung der Erde vermindern.

Es ist unmöglich diese Wirkung der Analysis zu unterwerfen; glücklicherweise kann man, vermittelst des im dritten Buche erläuterten Grundsazes der Erhaltung der Flächen, beweisen, dafs ihr Einfluſs auf die Umdrehung der Erde gleich Null ist. Nach diesem Grund-

saze ist die Summe aller Elemente der Erde, des Meeres und der Atmosphäre, stückweise multiplicirt mit den Flächen, welche ihre auf die Ebene des Aequators projicirten Radii vectores um den Schwerpunkt der Erde beschreiben, in gleicher Zeit beständig. Die Sonnenwärme bringt darin keine Veränderung hervor, weil sie die Körper gleichförmig nach allen Richtungen ausdehnt; nun übersieht man leicht, dafs, wenn die Umdrehung der Erde abnehmen sollte, diese Summe kleiner seyn würde; die durch die Sonnenwärme verursachten beständigen Winde ändern also diese Umdrehung nicht. Zu einer merklichen Veränderung der Dauer derselben wäre eine beträchtliche Ortsveränderung bey den Theilen des Erdsphäroids erforderlich. So würde die Versezung einer grofsen Masse von den Polen an den Aequator diese Dauer länger machen; sie würde hingegen kürzer werden, wenn dichte Körper dem Mittelpunkte oder der Axe der Erde sich näherten. Aber wir kennen keine Ursache, welche Massen, die stark genug wären, um in der Länge des Tags eine merkliche Veränderung zu bewirken, auf grofse Entfernungen versezen könnte; und wir sind also vollkommen berechtiget, diese Länge als

eins der beständigsten Elemente des Weltsystems zu betrachten. Das nämliche gilt von den Punkten, wo die Umdrehungsaxe der Erde ihrer Oberfläche begegnet. Wenn dieser Planet sich nach und nach um verschiedene Durchmesser drehete, die mit einander beträchtliche Winkel machten, so würden der Aequator und die Pole ihre Stelle auf der Erde verändern, und die Meere würden, indem sie sich nach dem neuen Aequator hinzögen, die höchsten Berge wechselsweise bedecken, und wieder verlassen. Aber alle Untersuchungen, die ich über die Ortsveränderung der Pole der Umdrehung auf der Erdoberfläche angestellt habe, haben mir bewiesen, dafs sie unmerklich ist.

Vierzehntes Kapitel.

Von dem Schwanken des Monds.

Wir haben endlich noch die Ursache von dem Schwanken des Monds und der Bewegung der Knoten seines Aequators zu erklären.

Der Mond ist, vermöge seiner Umdrehungsbewegung, an seinen Polen etwas abgeplattet, aber die Attraction der Erde mufste

seine gegen diesen Planeten gerichtete Axe verlängern. Wäre der Mond gleichartig und flüssig, so würde er, um im Gleichgewichte zu bleiben, die Gestalt eines Ellipsoids annehmen, dessen kleinere Axe durch die Pole der Umdrehung gienge; die gröfsere Axe wäre gegen die Erde gerichtet, und in der Ebene des Mondäquators, und die in der nämlichen Ebene liegende mittlere Axe wäre auf den beyden andern lothrecht. Der Ueberschufs der gröfseren Axe über die kleinere wäre das Vierfache von dem Ueberschusse der mittleren Axe über die kleinere, und ohngefähr $\frac{1}{29711}$, wenn die kleine Axe zur Einheit angenommen wird.

Man begreift leicht, dafs, wenn die grofse Axe des Monds sich ein wenig von der Richtung des Radius Vector entfernt, welcher seinen Mittelpunkt mit dem der Erde verbindet, die Attraction der Erde bestrebt sey, sie wieder zu diesem Radius zurückzubringen, eben so, wie die Schwere ein Pendel zur lothrechten Linie zurückbringt. Wenn die Umdrehungsbewegung dieses Trabanten ursprünglich schnell genug gewesen wäre, um dieses Bestreben zu überwinden, so würde die Zeit seiner Umdrehung der Zeit seines Umlaufs

cht vollkommen gleich gewesen seyn, und
: Unterschied würde uns nach und nach alle
nkte seiner Oberfläche entdeckt haben. Da
er ursprünglich die Winkelbewegungen der
ndrehung und des Umlaufs des Monds we-
g unterschieden waren, so war die Kraft,
mit die grofse Axe des Monds von seinem
dius Vector sich entfernte, nicht zurei-
end, um das Bestreben eben dieser Axe ge-
n diesen Radius zu überwinden; die Schwere
gen die Erde, von welcher dieses Bestreben
rührt, hat also auf solche Art diese Bewe-
ngen vollkommen gleich gemacht; und wie
n Pendel, das durch eine sehr kleine Kraft
n der Verticallinie entfernt worden, un-
terbrochen zu derselben zurückkommt,
id auf beyden Seiten kleine Schwingungen
acht, so mufs die grofse Axe des Mond-
häroids auf beyden Seiten des mittleren
dius Vector seiner Bahn schwingen. Daraus
tsteht eine schwankende Bewegung, deren
öfse von dem ursprünglichen Unterschiede
r beyden Winkelbewegungen der Umdre-
ng und des Umlaufs des Monds abhängt.
eses Schwanken ist sehr klein, weil die Be-
achtungen es nicht haben erkennen lassen.

Man sieht also, dafs die Theorie der Schwere die genaue Gleichheit der beyden mittleren Winkelbewegungen der Umdrehung und des Umlaufs des Monds auf eine befriedigende Art erklärt. Es würde gegen alle Wahrscheinlichkeit seyn, anzunehmen, dafs im Anfange diese beyden Bewegungen vollkommen gleich gewesen seyen; aber zur Erklärung dieser Erscheinung ist es genug, dafs ihr anfänglicher Unterschied sehr klein war; und alsdann hat die Attraction der Erde die vollkommene Gleichheit hergestellt, welche man beobachtet.

Da die mittlere Bewegung des Monds grofsen secularen Ungleichheiten unterworfen ist, die sich auf mehrere Peripherien ausdehnen, so ist klar, dafs, wenn seine mittlere Umdrehungsbewegung vollkommen gleichförmig wäre, dieser Trabant, vermöge dieser Ungleichheiten, der Erde nach und nach alle Punkte seiner Oberfläche entdecken würde; seine scheinbare Scheibe würde sich durch unmerkliche Abstufungen in eben dem Maafse ändern, als diese Ungleichheiten sich entdeckten; die nämlichen Beobachter würden sie immer sehr nahe als die nämliche sehen, und nur um mehrere Jahrhunderte von einander

entfernten Beobachtern würde sie merklich unterschieden zu seyn scheinen. Aber die Ursache, welche eine vollkommene Gleichheit zwischen den mittleren Bewegungen der Umdrehung und des Umlaufs des Monds zu Stande gebracht hat, benimmt den Erdbewohnern auf immer die Hoffnung, die der Halbkugel, welche er uns zeigt, entgegengesezten Theile seiner Oberfläche einmal zu entdecken. Indem die Attraction der Erde die grofse Axe des Monds ununterbrochen gegen uns zurückführt, so macht sie, dafs seine Umdrehungsbewegung an den seculären Ungleichheiten seiner Umlaufsbewegung Theil nimmt, und richtet beständig die nämliche Halbkugel gegen die Erde.

Die sonderbare Erscheinung des Zusammentreffens der Knoten des Mondäquators mit denen seiner Bahn ist auch noch eine Folge von der Attraction der Erde. Dies hat zuerst Lagrange durch eine sehr schöne Analyse gezeigt, welche ihn auf eine vollständige Erklärung aller an dem Mondsphäroide beobachteten Bewegungen geführt hat. Die Ebenen des Aequators und der Bahn des Monds, und die durch seinen Mittelpunkt in paralleler Richtung mit der Ekliptik gelegte Ebene haben

immer sehr nahe einerley Durchschnitt. Die secularen Bewegungen der Ekliptik ändern weder das Zusammentreffen der Knoten dieser drey Ebenen, noch ihre mittlere Neigung, welche die Attraction der Erde beständig bey einerley Gröfse erhält.

Wir wollen hier bemerken, dafs die vorhergehenden Erscheinungen mit der Hypothese nicht bestehen können, bey welcher der ursprünglich flüssige, und aus Schichten von jeder Dichtigkeit bestehende Mond die ihrem Gleichgewichte gemäfse Gestalt angenommen hätte. Sie zeigen zwischen den Axen des Mondsphäroids gröfsere Unterschiede, als diejenigen, welche bey dieser Hypothese Statt haben. Die grofsen Ungleichheiten, welche man auf der Mondsfläche beobachtet, haben ohne Zweifel einen merklichen Einfluſs auf diese Erscheinungen.

Wenn die Natur die mittleren himmlischen Bewegungen bestimmten Bedingungen unterwirft, so sind sie immer mit Schwingungen begleitet, deren Gröfse willkührlich ist; so giebt die Gleichheit der mittleren Bewegungen der Umdrehung und des Umlaufs des Monds einem wirklichen Schwanken dieses Trabanten den Ursprung. Eben so ist das

Zusammentreffen der mittleren Knoten des Aequators und der Bahn des Monds mit einem Schwanken der Knoten dieses Aequators um die der Bahn begleitet, welches sehr klein ist, da es bis jezt den Beobachtungen entgangen ist. Wir haben gesehen, dafs das wirkliche Schwanken der grofsen Axe des Monds unmerklich ist, und wir haben im sechsten Kapitel bemerkt, dafs das Schwanken der drey ersten Jupiterstrabanten gleichfalls unmerklich ist. Es ist sehr merkwürdig, dafs diese Arten des Schwankens, deren Gröfse willkührlich ist, und beträchtlich seyn könnte, doch sehr klein sind; man mufs dies den nämlichen Ursachen zuschreiben, welche anfänglich die Bedingungen, wovon sie abhangen, vestgesezt haben.

Fünfzehntes Kapitel.

Betrachtungen über das Gesez der allgemeinen Schwere.

Wenn man das Ganze der Erscheinungen des Sonnensystems betrachtet, so kann man sie in folgende drey Klassen ordnen; die erste enthält die Bewegungen der Schwerpunkte der Himmelskörper um Brennpunkte der Grund-

kräfte, welche sie treiben; die zweyte enthält alles, was die Gestalt und die Schwingungen der Flüssigkeiten, die sie bedecken, betrift; endlich sind die Bewegungen dieser Körper um ihre Schwerpunkte der Gegenstand der dritten. In dieser Ordnung haben wir diese verschiedenen Erscheinungen erklärt, und man hat gesehen, dafs sie eine nothwendige Folge von dem Grundsaze der allgemeinen Schwere sind. Dieser Grundsaz hat eine grofse Zahl von Ungleichheiten, bekannt gemacht, welche aus den Beobachtungen auszusondern beynahe unmöglich gewesen seyn würde; er hat ein Mittel an die Hand gegeben, die himmlischen Bewegungen sicheren und genauen Regeln zu unterwerfen; die einzig auf das Gesez der Schwere gegründeten astronomischen Tafeln entlehnen jezt von den Beobachtungen blos die willkührlichen Elemente, die auf keinem andern Wege bekannt werden können, und man darf nicht hoffen, sie noch weiter zu vervollkommnen, als wenn man zugleich die Genauigkeit der Beobachtungen und die der Theorie noch weiter bringt.

Die Bewegung der Erde, welche durch die Einfachheit, womit sie die himmlischen Erscheinungen erklärt, den Beyfall der Astro-

omen erhalten hat, hat durch den Grundsaz
r Schwere eine neue Bestätigung bekommen,
elche sie auf den höchsten Grad der Evidenz
hoben hat, deren physische Wissenschaften
hig sind. Die Wahrscheinlichkeit einer
heorie kann man theils durch Verminderung
r Zahl der Hypothesen, auf welche man sie
ündet, theils durch Vermehrung der Zahl
r Erscheinungen, welche sie erklärt, ver-
öfsern. Der Grundsaz der Schwere hat der
heorie von der Bewegung der Erde diese bey-
n Vortheile verschafft. Da sie eine noth-
endige Folge von demselben ist, so sezt er
eine neue Voraussezung zu dieser Theorie
inzu; aber um die scheinbaren Bewegungen
er Gestirne zu erklären, nahm Copernicus
ey der Erde dreyerley verschiedene Bewe-
ungen an: 1) die Bewegung um die Sonne,
) die um sich selbst, 3) die Bewegung ihrer
ole um die der Ekliptik. Der Grundsaz der
chwere macht sie alle von einer einzigen der
rde eingedrückten Bewegung nach einer nicht
urch ihren Schwerpunkt gehenden Richtung
bhängig. Vermöge dieser Bewegung dreht
e sich um die Sonne und um sich selbst, hat
ne an den Polen abgeplattete Gestalt ange-
ommen, und die Wirkung der Sonne und des

Monds auf diese Gestalt macht, dafs die Erdaxe sich langsam um die Pole der Ekliptik bewegt. Die Entdeckung dieses Grundsazes hat also die Voraussezungen, auf welche Copernicus seine Theorie gründete, auf die kleinste mögliche Anzahl heruntergesezt. Sie hat aufserdem den Vortheil, diese Theorie an alle astronomischen Erscheinungen anzuknüpfen. Ohne sie wären die elliptische Gestalt der Planetenbahnen, die Geseze, welchen die Planeten und Kometen bey ihren Bewegungen um die Sonne folgen, ihre secularen und periodischen Ungleichheiten; die zahlreichen Ungleichheiten des Monds und der Jupitertrabanten; das Vorrücken der Nachtgleichen, das Wanken der Erdaxe, die Bewegungen der Mondsaxe, endlich die Ebbe und Fluth des Meeres, lauter einzelne Resultate der Beobachtung, aufser aller Verbindung. Im Gegentheile ist die Art, wie alle diese, dem ersten Anscheine nach so wenig zusammenhangende, Erscheinungen aus einerley Geseze herflieſsen, welches sie an die Bewegung der Erde knüpft, so dafs, wenn man diese Bewegung einmal angenommen hat, man durch eine Reihe geometrischer Schlüsse auf diese Erscheinungen geführt wird, in der That etwas bewundernswürdiges.

le von ihnen giebt also einen Beweis seines
seyns ab, und wenn man erwägt, dafs es
: keine einzige unter ihnen giebt, die nicht
das Gesez der Schwere zurückgebracht
re, dafs, da dieses Gesez die Lage und die
wegungen der Himmelskörper für jeden
genblick, und während ihres ganzen Laufs
t der gröfsten Genauigkeit bestimmt, man
ht zu besorgen hat, dafs es durch irgend eine
jezt nicht beobachtete Erscheinung werde
gestofsen werden; dafs endlich auch der
net Uranus und seine neuerlich entdeckten
abanten ihm folgen, und es bestätigen: so ist
unmöglich, der vereinigten Kraft aller dieser
weise sich zu entziehen, und nicht einzuge-
hen, dafs in der Naturphilosophie nichts
ser erwiesen sey, als die Bewegung der Erde,
d der Grundsaz der allgemeinen Schwere
geraden Verhältnisse der Massen, und im
gekehrten des Quadrats der Entfernungen.

Ist aber dieser Grundsaz ein ursprüngli-
es Naturgesez? Ist es nicht blos eine allge-
ine Wirkung einer unbekannten Ursache?
er nöthigt uns die Unwissenheit, worin wir
s in Ansehung der inneren Eigenschaften
r Materie befinden, stille zu stehen, und be-
nmt uns alle Hoffnung, diese Fragen auf eine

befriedigende Art zu beantworten. Anstatt Hypothesen darüber aufzustellen, schränken wir uns darauf ein, die Art, wie der Grundsaz der Gravitation von den Geometern angewandt worden ist, noch umständlicher zu untersuchen.

Sie sind von den fünf folgenden Voraussezungen ausgegangen: 1) dafs die Gravitation unter den kleinsten Elementen der Körper Statt habe; 2) dafs sie den Massen proportionirt sey; 3) dafs sie sich umgekehrt verhalte wie das Quadrat der Entfernungen; 4) dafs sie in einem Augenblicke von einem Körper zum andern übergehe; 5) endlich, dafs sie auf gleiche Art auf ruhende Körper und auf solche wirke, die, da sie schon nach ihrer Richtung in Bewegung sind, sich ihrem Einflusse zum Theil zu entziehen scheinen.

Die erste dieser Voraussezungen ist, wie wir gesehen haben, eine nothwendige Folge der Gleichheit zwischen der Wirkung und Gegenwirkung; vermöge welcher jedes Element der Erde die ganze Erde anziehen mufs, wie es von ihr angezogen wird. Diese Voraussezung wird überdies durch die Messungen der Meridiangrade und des Pendels bestätiget. Denn mitten unter den Unregelmäfsigkeiten,

welche die gemessenen Grade bey der Figur der Erde anzuzeigen scheinen; entdeckt man, wenn ich so sagen darf, die Züge einer regelmäfsigen, und mit der Theorie übereinstimmenden Figur. Der grofse Einfluſs der Abplattung des Jupiters auf die Bewegungen der Knoten und der Jupitersnähen der Bahnen seiner Trabanten beweiſst uns noch, daſs die Attraction dieses Planeten aus den Attractionen aller seiner Elemente zusammengesezt ist.

Die Proportionalität der Anziehungskraft mit den Massen ist auf der Erde durch die Versuche mit dem Pendel erwiesen, dessen Schwingungen genau von gleicher Dauer sind, wie auch die Körper, die man schwingen läſst, beschaffen seyn mögen; in den Räumen des Himmels wird sie durch das beständige Verhältniſs der Quadrate der Umlaufszeiten der Körper, die um einen gemeinschaftlichen Brennpunkt gehen, zu den Würfeln der grosen Axen ihrer Bahnen dargethan.

Wir haben im ersten Kapitel gesehen, mit welcher Genauigkeit die beynahe absolute Ruhe der Sonnennähen der Planetenbahnen das Gesez der Schwere im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen anzeigt; und jezt, da wir die Ursache der kleinen

Bewegungen dieser Sonnennähen kennen, müssen wir dieses Gesez als völlig genau betrachten. Es ist das Gesez aller Ausflüsse, die von einem Mittelpunkte ausgehen, dergleichen das Licht ist; es scheint sogar, dafs alle Kräfte, deren Wirkung sich auf merkliche Entfernungen äufsert, diesem Geseze folgen. Seit kurzem hat man bemerkt, dafs die elektrischen und magnetischen Anziehungen und Abstofsungen im Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen abnehmen. Es ist eine merkwürdige Eigenschaft dieses Naturgesezes, dafs, wenn die Dimensionen aller Körper dieses Weltalls, ihre gegenseitigen Entfernungen und ihre Geschwindigkeiten sich verhältnifsmäfsig vermehrten oder verminderten, sie den Curven, welche sie wirklich durchlaufen, völlig ähnliche beschreiben, und ihre Erscheinungen durchgängig die nämlichen seyn würden; denn da die Kräfte, von welchen sie getrieben werden, das Resultat der den Quotienten der Massen durch die Quadrate der Entfernungen proportionirten Attractionen sind, so würden sie nach dem Verhältnisse der Dimensionen des neuen Weltgebäudes zu- oder abnehmen. Man sieht zugleich, dafs diese Eigenschaft nur dem Naturgeseze zukommen kann. Die Erscheinun-

scheinungen der Bewegungen des Weltgebäudes sind also von seinen absoluten Dimensionen eben so unabhängig, wie von der absoluten Bewegung, welche es im Weltraume haben kann, und wir können nichts, als Verhältnisse beobachten und erkennen. Dieses Gesez giebt den Kugeln die Eigenschaft, sich wechselseitig anzuziehen, als ob ihre Massen in ihren Mittelpunkten vereiniget wären. Es begrenzt auch noch die Bahnen und die Gestalten der Himmelskörper durch Linien und Flächen der zweyten Ordnung, wenigstens wenn man ihre Störungen aufser Acht läfst, und sie für flüssig annimmt.

Wir haben kein Mittel, um die Zeit der Fortpflanzung der Schwere zu messen, weil die Sonne, wenn ihre Attraction einmal die Planeten erreicht hat, so auf sie zu wirken fortfährt, als ob ihre Anziehungskraft den äufsersten Enden des Planetensystems sich augenblicklich mittheilte; man kann daher eben so wenig wissen, in wie viel Zeit sie zur Erde gelange, als es ohne die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten und ohne die Aberration möglich gewesen wäre, die allmälige Fortpflanzung des Lichts zu erkennen. Mit dem kleinen Unterschiede, welcher bey der Wir-

kung der Schwere auf die Körper nach der Richtung und der Gröfse ihrer Geschwindigkeit Statt finden kann, verhält es sich nicht so. Die Rechnung hat mir gezeigt, dafs daraus eine Beschleunigung der mittleren Bewegungen der Planeten um die Sonne, und der Trabanten um ihre Planeten entsteht. Ich hatte dieses Mittel, die seculare Gleichung des Monds zu erklären, ausgedacht, da ich mit allen Geometern glaubte, dafs sie bey den über die Wirkung der Schwere angenommenen Hypothesen unerklärbar wäre. Ich fand, dafs, wenn sie von dieser Ursache herrührte, man dem Monde, um ihn seiner Schwere gegen die Erde gänzlich zu entziehen, eine Geschwindigkeit gegen den Mittelpunkt dieses Planeten geben müfste, die zum wenigsten sechs millionenmal gröfser wäre, als die des Lichts. Da nun die wahre Ursache der secularen Gleichung des Monds heutzutage wohl bekannt ist, so sind wir versichert, dafs die Wirksamkeit der Schwere noch viel gröfser ist. Diese Kraft wirkt also mit einer Geschwindigkeit, die wir als unendlich betrachten können, und wir müssen daraus schliefsen, dafs die Attraction der Sonne sich den äufsersten Enden des Sonnensystems in einem beynahe untheilbaren Augenblicke mittheile.

Ob unter den Himmelskörpern noch andere Kräfte, aufser ihrer wechselseitigen Anziehung vorhanden seyen, wissen wir nicht; aber das können wir wenigstens behaupten, dafs ihre Wirkung unmerklich sey. Eben so können wir behaupten, dafs alle diese Körper von den Flüssigkeiten, die sie bey ihrer Bewegung durchschneiden, einen bis jezt unmerklichen Widerstand leiden, wie das Licht, die Kometenschweife und das Thierkreislicht.

Die Anziehungskraft verschwindet unter Körpern von unbeträchtlicher Gröfse; sie erscheint aber bey ihren Elementen wieder unter einer unendlichen Menge verschiedener Formen. Die Dichtigkeit der Körper, ihre Chrystallisation, die Brechung des Lichts, das Steigen und Fallen der Flüssigkeiten in den Haarröhren, und überhaupt alle chemischen Verbindungen sind Folgen der Anziehungskräfte, deren Kenntnifs einer der wichtigsten Gegenstände der Naturlehre ist. Aber sind etwa diese Kräfte die in den Räumen des Himmels beobachtete Gravitation selbst, auf der Erde durch die Gestalt der integrirenden Theilchen modificirt? Um diese Hypothese anzunehmen, müfste man bey den Körpern viel mehr leeren, als erfüllten Raum voraussezen,

so daſs die Dichtigkeit ihrer Theilchen unvergleichbar gröſser wäre, als die mittlere Dichtigkeit ihrer ganzen Massen. Ein sphärisches Element von 0,00001 Fuſs Durchmesser müſste eine zum wenigsten zehntausend milliardenmal gröſsere Dichtigkeit haben, als die mittlere Dichtigkeit der Erde ist, um auf seiner Oberfläche eine der Schwere auf der Erde gleiche Attraction zu äuſsern. Nun übertreffen die Anziehungskräfte der Körper diese Schwere beträchtlich, weil sie das Licht sichtbar beugen, dessen Richtung durch die Attraction der Erde nicht merklich verändert wird; die Dichtigkeit dieser Theilchen stünde also zu der der ganzen Körper in einem Verhältnisse, vor dessen Gröſse die Einbildungskraft sich entsezt, wenn ihre Verwandtschaften von dem Geseze der allgemeinen Schwere abhingen. Das Verhältniſs der Zwischenräume dieser Elemente zu ihren respectiven Dimensionen wäre von der nämlichen Ordnung, wie bey den Sternen, welche einen Nebelfleck bilden, den man aus diesem Gesichtspunkte als einen groſsen leuchtenden Körper betrachten könnte. Uebrigens hindert uns nichts, diese Vorstellungsart von allen Körpern anzunehmen. Mehrere Erscheinungen, und unter andern die

äuſserste Leichtigkeit, womit das Licht die durchsichtigen Körper nach allen Richtungen durchdringt, sind ihr günstig. Die Verwandtschaften würden alsdann von der Gestalt der integrirenden Theilchen abhangen, und man könnte aus der Manchfaltigkeit dieser Gestalten alle Verschiedenheiten der Anziehungskräfte erklären, und auf solche Art alle Erscheinungen der Physik und Astronomie auf ein allgemeines Gesez zurückführen. Aber die Unmöglichkeit die Gestalten der Elementartheilchen zu erkennen, macht diese Untersuchungen zur Aufnahme der Wissenschaften unnüz. Einige Geometer haben, um von den Verwandtschaften Rechenschaft zu geben, zu dem Geseze der Attraction im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen neue, nur in sehr kleinen Entfernungen merkliche, Glieder hinzugesezt. Aber diese Glieder würden eben so viele verschiedene Kräfte ausdrücken; und da sie sich aufserdem mit der Gestalt der Elemente verwickelten, würden sie nur die Erklärung der Erscheinungen verwickelter machen. Bey diesen Ungewifsheiten ist das klügste, was man thun kann, sich an die Bestimmung der Geseze der Verwandtschaften durch zahlreiche Versuche zu halten. Das

einfachste Mittel dazu zu gelangen, scheint die Vergleichung dieser Kräfte mit der zurückstoſsenden Kraft der Wärme zu seyn, die man selbst wiederum mit der Schwere vergleichen kann. Einige mit diesem Mittel bereits gemachten Versuche lassen hoffen, daſs diese Gesetze einst vollkommen werden bekannt werden; alsdann könnte man, durch Anwendung der Rechnung auf dieselbige, die Physik der Erdkörper zu eben dem Grade der Vollkommenheit erheben, den die Entdeckung der allgemeinen Schwere der Physik des Himmels verschafft hat.

Fünftes Buch.

Uebersicht der Geschichte der Astronomie.

Die Ordnung, in welcher ich die wichtigsten Resultate des Weltsystems dargestellt habe, ist nicht diejenige, welche der menschliche Geist bey ihrer Erforschung befolgt hat. Sein Gang war verworren und unsicher; oft gelangte er nur nach Erschöpfung der falschen Voraussetzungen, auf welche seine Einbildungskraft ihn geleitet hatte, zur wahren Ursache der Erscheinungen, und die Wahrheiten, die er entdeckte, waren fast immer mit Irrthümern verknüpft, welche die Zeit und die Beobachtung davon entfernt hat. Ich will nun mit wenigen Worten das Gemälde seiner Versuche und des Erfolgs derselben entwerfen. Man wird in demselben sehen, wie die Astronomie viele Jahrhunderte hindurch in ihrer Kindheit blieb, wie sie in der alexandrinischen Schule diese verläßt und fortschreitet, hierauf bis auf die Zeiten der Araber, durch deren Beobachtungen sie weiter vervollkommnet wurde, stille steht, wie sie endlich in den drey lezten Jahrhunderten sich mit schnellen Schritten zu der

Höhe erhebt, auf welcher wir sie heutzutage stehen sehen.

Erstes Kapitel.

Von der alten Astronomie bis auf die Stiftung der alexandrinischen Schule.

Das Schauspiel des Himmels mufste zu jeder Zeit die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich ziehen, besonders in den glücklichen Klimaten, wo die Heiterkeit der Luft zur Beobachtung der Gestirne einlud. Zum Behufe des Ackerbaues war es nothwendig, die Jahrzeiten zu unterscheiden, und die Zurückkunft derselben vestzusezen; man bemerkte bald, dafs der Auf- und Untergang der vornehmsten Sterne, in dem Augenblicke, wenn sie sich in den Sonnenstralen verlieren, oder aus denselben hervorgehen, zu dieser Absicht dienen konnte. Man sieht auch fast bey allen Völkern diese Art der Beobachtungen, bis auf die Zeiten, in welchen ihr Ursprung sich verliert, zurückgehen. Aber einige grobe Bemerkungen über den Auf- und Untergang der Sterne machten noch keine Wissenschaft aus; und die Astronomie fängt erst mit der Epoche an, wo

man, nachdem die früheren Beobachtungen gesammelt und mit einander verglichen, auch die himmlischen Bewegungen sorgfältiger, als zuvor, verfolgt worden waren, die Geseze dieser Bewegungen zu bestimmen versuchte. Die Bewegung der Sterne in einer gegen den Aequator geneigten Bahn, die Bewegung des Monds, die Ursache seiner Lichtgestalten und der Finsternisse, die Kenntnifs der Planeten und ihrer Umläufe, und die sphärische Gestalt der Erde konnten Gegenstände dieser alten Astronomie seyn; aber die wenigen auf uns gekommenen Denkmäler davon sind nicht zureichend, um die Epoche, und die Ausdehnung derselben vestzusezen. Wir können über ihr hohes Alterthum nur nach den auf uns gekommenen astronomischen Perioden, nach einigen richtigen Begriffen der *Chaldäer* und *Egypter* über das Weltsystem, und nach dem genauen Verhältnisse mehrerer sehr alten Maafse zu dem Umkreise der Erde urtheilen. Die Anordnung des Wechsels der Weltbegebenheiten hat es so gefügt, dafs, da diejenige unter den Künsten, welche allein dazu geschickt ist, die Ereignisse der vergangenen Jahrhunderte auf eine dauerhafte Art auf die Nachwelt zu bringen, eine neuere Erfindung

ist, das Andenken der ersten Erfinder in den Wissenschaften und Künsten gänzlich erloschen ist. Grofse Völker, von welchen die Geschichte kaum die Namen kennt, sind von ihren Wohnplätzen verschwunden; ihre Jahrbücher, ihre Sprache, selbst ihre Städte, alles ist vernichtet, und von Denkmälern ihrer Wissenschaften und ihres Kunstfleifses ist nichts übrig geblieben, als eine verworrene Ueberlieferung und einige zerstreute Bruchstücke von ungewissem Ursprunge.

Die praktische Astronomie dieser ersten Zeiten schränkte sich, wie es scheint, auf die Beobachtungen des Auf- und Untergangs der vornehmsten Sterne, auf ihre Bedeckungen durch den Mond und die Planeten und auf die Finsternisse ein. Man verfolgte den Gang der Sonne vermittelst der Sterne, welche das Licht der Dämmerungen verdunkelte, und vielleicht auch durch die Veränderungen des Mittagsschattens des Gnomons; man bestimmte die Bewegung der Planeten durch die Sterne, denen sie in ihrem Laufe sich näherten. Um alle diese Gestirne und ihre verschiedenen Bewegungen wieder zu erkennen, theilte man den Himmel in Sternbilder, und insbesondere wurde die Zone des Himmels, von welcher die

Sonne, der Mond und die Planeten sich niemals entfernen, und welche den Namen des *Thierkreises* führt, in die zwölf folgenden Sternbilder getheilt: *Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische.* Man nannte sie *Zeichen*, weil sie zur Unterscheidung den Jahrszeiten dienten; so bezeichnete der Eintritt der Sonne in das Zeichen des Widders zur Zeit des Hipparchus, den Anfang des Frühlings; hierauf durchlief dies Gestirn den Stier, die Zwillinge, den Krebs, etc. aber die rückläufige Bewegung der Nachtgleichen änderte diesen Gang der Jahrszeiten. Da indessen die Beobachter daran gewöhnt waren, den Anfang des Frühlings mit dem Eintritte der Sonne in den Widder zu bezeichnen, so behielten sie diese Bezeichnungsart bey, und unterschieden zu dieser Absicht die Sternbilder von den Zeichen des Thierkreises; die letzteren waren jezt blos etwas eingebildetes, das zur Darstellung der Bewegung der Sonne diente. Jezt, da man alles auf die einfachsten Begriffe und Ausdrücke zurückzuführen sucht, fängt man an, die Zeichen des Thierkreises nicht mehr zu betrachten, und die Lage der Sterne in der Ekliptik durch ihre

Entfernung von der Nachtgleiche zu bezeichnen.

Einige von den den Sternbildern des Thierkreises gegebenen Namen scheinen sich auf die Bewegung der Sonne zu beziehen; der Krebs zum Exempel zeigt das Zurückgehen dieses Gestirns zum Stillstande an, und die Wage bezeichnet die Gleichheit der Tage und Nächte in der Nachtgleiche. Andere Namen scheinen sich auf den Ackerbau und das Klima des Volks, das den Thierkreis bildete, zu beziehen.

Die ältesten Beobachtungen, welche mit zureichenden Bestimmungen auf uns gekommen sind, um in der Astronomie davon Gebrauch machen zu können, sind die zu *Babylon* in den Jahren 719 und 720 vor der christlichen Zeitrechnung angestellten Beobachtungen von drey Mondsfinsternissen. Ptolemäus, der sie in seinem Almageste anführt, bediente sich ihrer zur Bestimmung der mittleren Bewegung des Monds. Ohne Zweifel hatte Hipparchus und er keine älteren, die genau genug gewesen wären, um zu dieser Bestimmung tauglich zu seyn, deren Genauigkeit sich verhält, wie die Entfernung zwischen den äufsersten Beobachtungen. Diese Be-

trachtung kann uns über den Verlust der neunzehnhundert Jahrgänge von Beobachtungen trösten, deren die *Chaldäer*, wenn man dem Simplicius glauben darf, zur Zeit Alexanders sich rühmten, und welche Aristoteles, durch die Vermittelung des Kallisthenes mitgetheilt bekam.

Sie konnten aber doch nur durch eine lange Reihe von Beobachtungen die Periode von 6585 $\frac{1}{3}$ Tagen entdecken, die sie *Saros* nannten, und welche den Vorzug hat, den Mond sehr nahe in die nämliche Lage in Ansehung seines Knoten, seiner Erdnähe und der Sonne zurückzuführen; daher gaben die in einer Periode beobachteten Finsternisse ein einfaches Mittel an die Hand, die in den folgenden Perioden zu erwartenden vorauszusagen. Die Monds-Sonnenperiode von sechshundert Jahren scheint auch den Chaldäern bekannt gewesen zu seyn. Diese zwey Perioden sezen eine ziemlich genaue Kenntniſs von der Länge des Jahrs voraus; es ist sogar wahrscheinlich, daſs sie den Unterschied des siderischen und tropischen Jahres bemerkt, und von dem Gnomon und den Sonnenuhren Gebrauch gemacht haben. Endlich wurden einige von ihnen durch die Betrachtung des Schauspiels der Natur auf

den Gedanken geführt, dafs die Bewegungen der Kometen, wie die der Planeten, Perioden unterworfen seyen, die sich nach ewigen Gesezen richten.

In *Egypten* ist die Astronomie eben so alt, als in *Chaldäa*. Die Egypter kannten, lange vor der christlichen Zeitrechnung, den Viertelstag, um welchen das Jahr gröfser, als 365 Tage, ist; und gründeten auf diese Kenntnifs die *sothische* *) Periode von 1460 Jahren, welche, nach ihnen, die Monathe und Feste ihres aus 365 Tagen bestehenden Jahrs zu den nämlichen Jahrszeiten zurückbrachte. Die genaue Richtung der Seiten ihrer Pyramiden nach den vier Hauptweltgegenden giebt eine vortheilhafte Vorstellung von ihrer Beobachtungsart; auch ist es wahrscheinlich, dafs sie Methoden, die Finsternisse zu berechnen, gekannt haben. Was aber ihrer Astronomie die meiste Ehre macht, ist die feine und wichtige Bemerkung der Bewegungen des Merkurs und der Venus um die Sonne. Der Ruf ihrer Priester zog die ersten Philosophen *Griechenlands* dahin; und nach aller Wahrscheinlichkeit hatte die

*) Sie bekam diesen Namen daher, weil sie mit dem ersten Tage des Monats *Thoth* ihren Anfang nahm.

chule des Pythagoras ihnen die richtigen
egriffe zu danken, die sie vom Weltgebäude
rbreitete.

Bey den Völkern, von welchen bisher
e Rede war, wurde die Astronomie blos in
n Tempeln und von Priestern getrieben, die
re Kenntnisse zur Bevestigung des Reichs des
berglaubens, dessen Diener sie waren, ge-
auchten. Sie verbargen sie sorgfältig unter
nbildern, die sie der leichtglaubigen Un-
issenheit von Heroen und Göttern vorlegten;
ren Handlungen nichts anders waren, als
ne Allegorie von den himmlischen Erschei-
ngen und den Naturwirkungen; eine Alle-
rie, welche das Nachahmungsvermögen,
ne der vornehmsten Triebfedern der morali-
hen Welt, bis auf uns fortgeführt hat, da-
rch, dafs es solche in unsern Religionsun-
richt mischte. Um die Völker desto leich-
zu unterjochen, benuzten sie das so natür-
he Verlangen, in die Zukunft einzudringen,
d erfanden die *Astrologie*. Da der Mensch
rch die Täuschungen der Sinne verleitet
rd, sich als den Mittelpunkt des Weltalls
betrachten, so war es leicht, ihn zu über-
en, dafs die Gestirne auf die Begebenheiten
nes Lebens einen Einfluss hätten, und sol-

che voraus anzeigen könnten. Dieser, se
Eigenliebe werthe, und seiner unruhigen l
gierde nothwendige Irrthum scheint ebe
alt zu seyn, als die Astronomie; er hat
auch sehr lange erhalten, und ist erst am l
des vorigen Jahrhunderts, durch die Kenn
unserer wahren Verhältnisse zu der N
verdrängt worden.

In *Persien* und *Indien* verliert sich
Anfang der Astronomie in der Dunkelhei
welche der Ursprung dieser Völker eing
let ist.

Nirgends fällt dieser Anfang so wei
rück, als in *China*, und zwar nach eine
bestreitbaren Reihe historischer Denkm
Die Ankündigungen der Finsternisse un
Kalender wurden dort immer als ein wic
Gegenstand betrachtet, für welchen m
mathematisches Tribunal errichtete; al
ängstliche Anhänglichkeit der *Chinesen*
alten Gebräuche, die sich sogar bis
Methoden der Astronomie erstreckt, l
Wissenschaft bey ihnen in ihrer Kin
halten.

Die indianischen Tafeln geben
kommenere Astronomie zu erkenn
alles bestimmt uns, zu glauben, daſ

sehr alt seyen. Ich gehe hier ungerne von der Meinung eines berühmten Gelehrten *) ab, der, nachdem er seine Laufbahn durch Arbeiten, die den Wissenschaften und der Menschheit nüzlich waren, verherrlichet hatte, als ein Opfer der blutdürstigsten Tyranney starb, und den Beleidigungen eines irregeführten Volks, das die Zurüstungen zu seiner Hinrichtung grausamer Weise verlängerte, die Ruhe und Würde des Gerechten entgegensezte. Die indianischen Tafeln haben zwey Hauptepochen, deren eine bis auf das Jahr 3102 vor der christlichen Zeitrechnung, die andere bis auf das Jahr 1491 zurückfällt. Diese Epochen sind durch die mittleren Bewegungen der Sonne, des Monds und der Planeten so mit einander verbunden, dafs eine von ihnen nothwendig erdichtet ist. Der vorerwähnte berühmte Schriftsteller hat in seiner Abhandlung über die Astronomie der Indianer zu behaupten gesucht, dafs die erste dieser Epochen auf Beobachtung gegründet sey. Ungeachtet seiner Beweise, die mit dem ganzen Interesse, das er den verwickeltesten Gegenständen zu geben wufste, dargestellt sind, halte ich es für sehr

*) Die meisten Leser errathen wohl von selbst, dafs dies der edle Bailly ist.

wahrscheinlich, dafs diese Epoche ausgedacht worden sey, um den Bewegungen der Himmelskörper einen gemeinschaftlichen Ursprung im Thierkreise zu geben. In der That findet man, wenn man von der Epoche des Jahrs 1491 an, vermittelst der indianischen Tafeln, bis zum Jahre 3102 vor der christlichen Zeitrechnung aufsteigt, eine allgemeine Conjunction der Sonne, des Monds und der Planeten, wie diese Tafeln voraussezen; da aber diese Conjunction von dem Resultate unserer besten Tafeln zu viel abweicht, als dafs sie hätte Statt finden können, so zeigt sie uns, dafs die Epoche, worauf sie sich bezieht, nicht auf Beobachtungen gegründet ist. Einige Elemente der indianischen Astronomie scheinen sogar zu zeigen, dafs sie noch vor dieser ersten Epoche bestimmt worden seyen; so konnte die Mittelpunktsgleichung der Sonne, welche sie auf 2,°4173 sezt, diese Gröfse nur um das Jahr 4300 vor der christlichen Zeitrechnung haben. Aber unabhängig von den Irrthümern, deren die Bestimmungen der *Indianer* fähig waren, mufs man bemerken, dafs sie die Ungleichheiten der Sonne und des Monds blos in Beziehung auf die Finsternisse betrachtet haben, bey welchen die Jahrsgleichung des

Monds mit der Mittelpunktsgleichung der Sonne sich vereinigt, und sie ohngefähr um 22′ vermehrt, welches etwa der Unterschied unserer Bestimmungen von denen der Indianer ist.

Mehrere Elemente, wie die Mittelpunktsgleichungen des Jupiters und Mars, sind in den indianischen Tafeln so verschieden von denen, wie sie für ihre erste Epoche seyn sollten, dafs man aus den andern Elementen nichts zum Vortheile ihres Alterthums schliefsen kann. Die Beschaffenheit dieser Tafeln im Ganzen, und besonders die Unmöglichkeit der Conjunction, die sie für die nämliche Epoche voraussezen, beweisen im Gegentheile, dafs sie in neueren Zeiten, wo nicht verfertiget, doch wenigstens berichtiget worden sind. Indessen läfst das alte Ansehen der Indianer es nicht bezweifeln, dafs sie zu allen Zeiten die Astronomie getrieben haben; und die merkwürdige Genauigkeit der mittleren Bewegungen, die sie der Sonne und dem Monde gegeben haben, hat nothwendig sehr alte Beobachtungen erfordert.

Die *Griechen* haben erst lange nach den *Egyptern*, deren Schüler sie waren, die Astronomie zu treiben angefangen. Es ist schwer aus den Fabeln, welche die ersten Jahrhun-

derte ihrer Geschichte ausfüllen, ihre astronomischen Kenntnisse herauszufinden; es scheint blos, dafs sie dreyzehn- oder vierzehnhundert Jahre vor der christlichen Zeitrechnung den Himmel in Sternbilder eingetheilt haben; denn auf diese Epoche mufs man die Sphäre des Eudoxus beziehen. Ihre zahlreichen philosophischen Schulen zeigen, vor der Stiftung der alexandrinischen, keinen Beobachter; sie trieben in denselben die Astronomie als eine blos speculative Wissenschaft, und überliefsen sich dabey meistens leeren Speculationen.

Es ist sonderbar, dafs bey dem Anblicke einer solchen Menge von Systemen, die einander bekämpften, ohne etwas zu lehren, die sehr einfache Bemerkung, dafs das einzige Mittel, die Natur kennen zu lernen, darin bestehe, dafs man sie durch Versuche fragt, so vielen Philosophen, worunter mehrere Männer von grofsem Geiste waren, entgangen ist. Man wird sich aber darüber nicht wundern, wenn man bedenkt, dafs die ersten Beobachtungen, da sie blos einzelne Ereignisse, und ohne Reiz für die mit Ungeduld zu den Ursachen forteilende Einbildungskraft, zeigten, äufserst langsam auf einander folgen mufsten. Es war erforderlich, dafs eine lange

Reihe von Jahrhunderten sie in hinreichend grofser Menge anhäuften, um unter den Erschütterungen Verhältnisse zu entdecken, die dadurch, dafs sie sich immer weiter und weiter erstreckten, mit dem Interesse der Wahrheit das der allgemeinen Speculationen vereinigten, wozu der menschliche Geist sich zu erheben ununterbrochen bestrebt ist.

Indessen sieht man mitten unter den philosophischen Träumen der Griechen richtige Begriffe über die Astronomie durchschimmern, die sie auf ihren Reisen auffafsten, und hernach vervollkommneten. Thales, gebohren zu *Miletus*, im Jahr 640 vor der christlichen Zeitrechnung, gieng, um sich zu unterrichten nach Egypten; nach seiner Zurückkunft nach Griechenland stiftete er die *ionische* Schule, und lehrte in derselben die sphärische Gestalt der Erde, die Schiefe der Ekliptik und die wahre Ursache der Sonnen- und Mondsfinsternisse; ja er brachte es, ohne Zweifel durch Anwendung der Methoden oder der Perioden, welche die egyptischen Priester ihm mitgetheilt hatten, so weit, sie vorauszusagen.

Thales hatte zu Nachfolgern den Anaximander, Anaximenes und Anaxagoras. Man schreibt dem ersten die Erfindung

des Gnomons und der geographischen Charten zu, wovon jedoch die Egypter schon Kenntniſs gehabt zu haben scheinen. Anaxagoras wurde von den Athenienſern verfolgt, weil er die Lehren der ioniſchen Schule vorgetragen hatte. Man warf ihm vor, daſs er den Einfluſs der Götter auf die Natur dadurch vernichte, daſs er ihre Erscheinungen unveränderlichen Gesezen zu unterwerfen suche. Verbannt mit seinen Kindern verdankte er die Erhaltung seines Lebens blos den Bemühungen des Perikles, seines Schülers und Freundes, welchem es gelang, die Verwandlung der Todesstrafe in eine Landesverweisung zu bewirken.

So hatte die Wahrheit, wenn sie sich auf der Erde vestsezen wollte, fast immer mit angenommenen Irrthümern zu kämpfen, welche mehr als einmal für die, welche sie bekannt machten, traurige Folgen hatten.

Aus der ioniſchen Schule gieng der Stifter einer neuen noch viel berühmteren hervor. Pythagoras, gebohren zu *Samos* um das Jahr 590 vor der christlichen Zeitrechnung war zuerst ein Schüler des Thales. Dieser Philosophe gab ihm den Rath, nach Egypten zu reisen, wo er sich in die Mysterien der

Priester einweihen liefs, um sich in ihrer Gelehrsamkeit gründlich zu unterrichten. Nachdem in der Folge die Bramanen seine Neugierde angezogen hatten, gieng er, um sie aufzusuchen, bis an die Ufer des *Ganges*. Nach der Zurückkunft in sein Vaterland nöthigte ihn der Despotismus, unter welchem es damals seufzete, sich auf immer aus demselben zu entfernen; er begab sich also nach Italien, wo er seine Schule stiftete. Alle astronomischen Wahrheiten der ionischen Schule wurden in der *pythagorischen* mit weiterer Entwickelung vorgetragen; aber was sie vorzüglich auszeichnet, ist die Kenntnifs der zwey Bewegungen der Erde, der um sich selbst, und der um die Sonne. Pythagoras ahmte den egyptischen Priestern, denen er sie wahrscheinlich zu danken hatte, darin nach, dafs er sie dem grofsen Haufen sorgfältig verbarg; durch seinen Schüler Philolaus aber wurde sie sehr lichtvoll dargestellt.

Nach den Pythagoräern bewegen sich nicht nur die Planeten, sondern auch die Kometen um die Sonne, und die lezteren sind keine vorübergehenden atmosphärischen Meteore, sondern ewig daurende Naturwerke. Diese völlig richtigen Begriffe vom Weltsy-

steme wurden von Seneca aufgefaſst, und mit dem Enthusiasmus dargestellt, welchen ein hoher Begriff von einem der gröſsten Gegenstände der menschlichen Kenntnisse in der Seele des Philosophen erwecken muſs. „Wir „wollen uns nicht darüber wundern, sagt er, „daſs man das Gesez der Bewegung der Kome„ten nicht kennt, die man so selten sieht, und „daſs man weder den Umfang noch das Ende „des Umlaufs dieser Gestirne kennt, die sich „auf so ungeheure Weiten entfernen. Es sind „erst fünfzehnhundert Jahre, daſs Griechen„land die Sterne gezählt und ihnen Namen „gegeben hat. . . . . Die Zeit wird kommen, „da, durch den fortgesezten Fleiſs mehrerer „Jahrhunderte, Dinge, die uns jezt noch „verborgen sind, deutlich werden erkannt „werden, und die Nachwelt wird sich wun„dern, daſs so klare Wahrheiten uns entgan„gen seyen."

In eben dieser Schule hatte man auch die Vorstellung, daſs die Planeten bewohnt, die Fixsterne aber durch den Weltraum zerstreuete Sonnen und die Mittelpunkte eben so vieler Planetensysteme seyen. Diese philosophischen Ansichten hätten durch ihre Gröſse und ihre Richtigkeit den Beyfall des Alterthums

rhalten müssen; da sie aber mit Meinungen
ler Systeme, wie die von der Harmonie der
immlischen Sphären war, vermischt vorge-
ragen wurden, und von den Beweisen, die
ie erst später durch ihre Uebereinstimmung
nit allen Beobachtungen erhielten, entblöfst
waren; so ist es kein Wunder, dafs ihre den
Täuschungen der Sonne widersprechende
Wahrheit verkannt wurde.

Die Geschichte der Astronomie bey den
Griechen, zeigt weiter nichts merkwürdiges,
bis auf die Stiftung der *alexandrinischen* Schule,
ufser einigen Versuchen des Eudoxus zur
rklärung der himmlischen Erscheinungen,
nd dem neunzehnjährigen Cykel, welchen
Meton ausdachte, um die Umläufe der Sonne
nd des Monds zu vereinigen. Es ist vortheil-
aft und einfach zugleich, blos die Umläufe
er Sonne zum Zeitmaafse zu gebrauchen;
ber im ersten Zeitalter der Völker boten die
Lichtgestalten des Monds ihrer Unwissenheit
eine so natürliche Eintheilung der Zeit dar,
dafs sie durchgängig angenommen wurde. Sie
ordneten, ihre Feste und ihre Spiele nach der
Zurückkunft dieser Lichtgestalten; und wenn
die Bedürfnisse des Ackerbaues sie nöthigten,
sich an die Sonne zu halten, um die Jahrszei-

ten zu unterscheiden, so entsagten sie deswegen ihrem alten Gebrauche, die Zeit nach den Umläufen des Monds zu messen, nicht, sondern suchten zwischen diese und die Umläufe der Sonne eine Uebereinstimmung zu bringen die sich auf *Perioden* gründete, welche eine genaue Zahl von Umläufen dieser beyden Gestirne umfassen. Unter solchen Perioden ist die genaueste in einem kurzen Zeitraume die von 19 Sonnenjahren, oder 235 Mondwechseln (Lunationen). Daher wurde sie, da sie Meton dem bey den olympischen Spielen versammelten Griechenlande zur Grundlage des Kalenders vorgeschlagen hatte, mit allgemeinem Beyfalle aufgenommen, und in allen griechischen Städten und Kolonien einstimmig eingeführt.

Zweytes Kapitel.

Von der Astronomie seit der Stiftung der alexandrinischen Schule bis auf die Araber.

Bisher hat uns die praktische Astronomie verschiedenen Völker blos gröbere Beobtungen gezeigt, die sich auf die Erscheinu der Jahrszeiten und der Finsternisse, al

nstände ihrer Bedürfnisse oder ihres Schrek-
ns, beziehen. Einige auf sehr lange Zwi-
henzeiten gegründete Perioden, und glück-
he Muthmaſsungen über die Beschaffenheit
es Weltgebäudes, mit vielen Irrthümern ver-
ischt, machten ihre ganze theoretische Astro-
omie aus. In der *alexandrinischen* Schule
ehen wir zu allererst ein zusammenhangendes
ystem von Beobachtungen, die mit Winkel-
nessern angestellt, und nach trigonometrischen
Methoden berechnet sind. Damals nahm die
Astronomie eine neue Gestalt an, welche die
olgenden Jahrhunderte nur vervollkommnet
aben. Man bestimmte die Lage der Fixsterne,
erfolgte die Planeten sorgfältig, lernte die
ngleichheiten der Sonne und des Monds bes-
er kennen; kurz die alexandrinische Schule
ab dem ersten astronomischen Systeme, wel-
hes das Ganze der himmlischen Bewegungen
mfassete, sein Daseyn, einem Systeme, das
n der That weit unter dem stund, welches die
pythagorische Schule aufgestellt hatte, das aber
auf Vergleichung der Beobachtungen gegrün-
det war, und in dieser Vergleichung selbst das
Mittel, es umzustoſsen, und zum Systeme der
Natur zu erheben, an die Hand gab.

Nach dem Tode Alexanders theilten

seine vornehmsten Feldherrn sein Reich unter sich, und Ptolemäus Soter erhielt *Egypten* zu seinem Antheile. Seine Liebe zu den Wissenschaften und seine Freygebigkeit zogen eine grofse Anzahl von Gelehrten aus Griechenland nach *Alexandria*, der Hauptstadt seiner Staaten. Sein Sohn Ptolemäus Philadelphus, der Erbe seines Throns und seines Geschmacks, suchte sie durch besondere Begünstigungen daselbst zu erhalten. Ein grofses Gebäude, (das *Musäum*) worin sie Wohnung und Unterhalt fanden, schlofs eine Sternwarte und die berühmte Bibliothek ein, welche Demetrius Phalereus *) mit so vielem Fleifse und so grofsen Kosten zusammenbrachte. Sie fanden hier die nöthigen Werkzeuge und Bücher, und ihre Nacheiferung wurde durch die Gegenwart des Fürsten erweckt, welcher oft kam, um sich mit ihnen über ihre Arbeiten zu unterhalten.

Aristyllus und Timocharis waren, etwa 300 Jahre vor der christlichen Zeitrechnung, die ersten Beobachter dieser neuen Schule. Durch ihre Beobachtungen der vornehmsten Fixsterne des Thierkreises wurde

*) Dies wird von vielen, namentlich auch von Bruckern, bezweifelt.

Hipparchus zur Entdeckung des Vorrückens der Nachtgleichen geführt, und auf ihre Beobachtungen der Planeten gründete Ptolemäus seine Theorie von der Bewegung dieser Gestirne.

Der erste Astronome, den wir nach diesen in der alexandrinischen Schule finden, ist Aristarchus von *Samos*. Dieser machte die feinsten Elemente der Astronomie zum Gegenstande seiner Untersuchungen. Er beobachtete den Sommerstillstand des Jahrs 281. vor der christlichen Zeitrechnung. Er bestimmte die Gröſse des Sonnendurchmessers, und fand ihn dem 720 sten Theile der Peripherie gleich, welche Angabe zwischen den beyden Grenzen das Mittel hält, in welche Archimedes diesen Durchmesser wenige Jahre nachher durch eine sinnreiche Methode einschloſs, nach welcher ihm derselbe gröſser schien, als $\frac{1}{200}$, und kleiner, als $\frac{1}{164}$ des rechten Winkels. Was aber dem Geiste des Aristarchus am meisten Ehre machte, ist die Art, wie er die Entfernung der Sonne von der Erde zu bestimmen suchte. Er beobachtete den zwischen der Sonne und dem Monde eingeschlossenen Winkel in dem Augenblicke, da er die Hälfte der Sonnenscheibe für erleuchtet hielt, und nach-

dem er ihn ohngefähr 96°,7 grofs gefunden hatte, schlofs er daraus, dafs die Sonne achtzehn- bis zwanzigmal weiter von uns entfernt sey, als der Mond, ein Resultat, das, troz seiner Genauigkeit, die Grenzen des Weltgebäudes doch weit über diejenigen hinausrückte, welche man ihm sonst gegeben hatte. Aristarchus brachte die Meinung der pythagorischen Schule von der Bewegung der Erde wieder in Umlauf; da aber seine Schriften über diesen Gegenstand verlohren gegangen sind, so wissen wir nicht, wie weit er es durch dieses Hülfsmittel in der Erklärung der himmlischen Erscheinungen gebracht habe. Nur so viel wissen wir, dafs dieser scharfsinnige Astronome die Fixsterne aus dem Grunde in unvergleichbar gröfsere Entfernungen, als die Sonne, von uns gesezt habe, weil die Bewegung der Erde auf ihre scheinbare Lage keinen merklichen Einfluss hätte. Er scheint also im ganzen Alterthume derjenige gewesen zu seyn, der von der Gröfse des Weltgebäudes die richtigsten Begriffe hatte.

Sein Nachfolger Eratosthenes verdankt seinen Ruf hauptsächlich seiner Erdmessung und seiner Beobachtung der Schiefe der Ekliptik. Nachdem er zu *Siena* einen Brun-

nen bemerkt hatte, den die Sonne, am Tage des Sonnenstillstands, seiner ganzen Tiefe nach erleuchtete, so beobachtete er im nämlichen Sonnenstillstande, die Mittagshöhe der Sonne zu *Alexandria*, und fand den Bogen des Himmels zwischen den Scheitelpunkten dieser beyden Städte, dem fünfzigsten Theile der Peripherie gleich; und da ihre Entfernung auf 500 Stadien geschäzt wurde, so sezte Eratosthenes die Länge des Erdumkreises auf 250 tausend Stadien. Die Ungewifsheit, worin man sich in Absicht auf den Werth des von diesem Astronomen gebrauchten Stadiums befindet, macht die Beurtheilung der Genauigkeit dieser Messung unmöglich.

Aristoteles, Kleomedes, Posidonius und Ptolemäus haben vier andere Bestimmungen von der Gröfse des Erdumkreises gegeben, und solche auf 400, 300, 240, und 180 tausend Stadien gesezt. Die sehr einfachen Verhältnisse dieser Messungen unter einander führen auf den Gedanken, dafs sie blos Ausdrückungen der nämlichen Messung in verschiedenen Stadien seyen. Das alexandrinische Stadium hielt 400 grofse Ellen (coudées) von der nämlichen Länge, wie das Nilmaafs (le nilomètre) von *Cairo*, welches, nach Fre-

ret, viele Jahrhunderte lang unverändert geblieben ist, und bis über den Sesostris hinaufgeht; seine Gröfse ist, nach den in den neuesten Zeiten angestellten genauen Messungen, 1,7119 Fufs, welches für den Werth des alexandrinischen Stadiums 684,76 Fufs giebt. Nun ist es natürlich, anzunehmen, dafs dieses Stadium das des Ptolemäus sey, und in diesem Falle wäre der Umkreis der Erde nach diesem Astronomen, 123256800 Fufs grofs, was von dem Resultate der wirklichen Messungen, die ihn auf 123178320 Fufs sezen, sehr wenig unterschieden ist.

Wenn die Messungen des Posidonius, Kleomedes und Aristoteles mit der des Ptolemäus einerley sind, so sind die ihnen zugehörigen Stadien 513,570; 410,856; und 308,142 Fufs. Vergleicht man nun die alten Wegmaafse von vielen bekannten Oertern mit den wirklichen Entfernungen derselben, so findet man im Alterthume diese verschiedenen Stadien mit einer Genauigkeit wieder, welche die Identität dieser vier Erdmessungen wahrscheinlich macht. Es ist daher wahrscheinlich, dafs sie alle von einer sehr alten und sehr genauen Messung abhangen, sie mag nun wirklich mit grofser Sorgfalt ausgeführt worden

seyn,

seyn, oder es mögen sich die Beobachtungsfehler gegen einander aufgehoben haben, wie dies bey der von Fernel und selbst bey der von Picard unternommenen Erdmessung der Fall war. Wir wissen zwar, dafs Posidonius selbst einen Bogen des Erdmeridians gemessen hat, und seine Operation verstattet, wiefern man solches nach den Umständen, welche davon auf uns gekommen sind, beurtheilen kann, keine grofse Genauigkeit. Man ist aber berechtiget zu glauben, dafs er blos zur Absicht gehabt habe, die älteren Erdmessungen zu berichtigen, die er beybehielt, da er sie mit der seinigen beynahe übereinstimmend fand.

Die Beobachtung der Schiefe der Ekliptik durch den Eratosthenes ist defswegen schäzbar, weil sie ihre à priori durch die Theorie der Schwere bekannte Abnahme bestättiget. Die Entfernung der Wendekreise fand er kleiner, als 53,°06, und gröfser, als 52,°96, welches, nach einem Mittel, für die Schiefe der Ekliptik 26°,50 giebt. An diesem Resultate änderte Hipparch nach neueren Beobachtungen nichts.

Unter allen Astronomen des Alterthums ist Hipparchus aus *Bithynien* derjenige,

welcher sich durch die grofse Menge und Genauigkeit seiner Beobachtungen, durch die wichtigen Resultate, die er aus ihrer Vergleichung unter einander und mit den älteren Beobachtungen zu ziehen wufste, und durch die Methode, die er bey seinen Untersuchungen befolgte, aufs beste um die Astronomie verdient gemacht hat. Er lebte zu *Alexandria* um das Jahr 140 vor der christlichen Zeitrechnung.

Nicht zufrieden mit dem, was man bis auf ihn gethan hatte, wollte Hipparch ganz von vorne anfangen, und nichts annehmen, als Resultate, die sich auf eine neue Untersuchung der älteren Beobachtungen, oder auf neue und genauere Beobachtungen, als die seiner Vorgänger waren, gründeten. Nichts beweifst die Unzuverläfsigkeit der egyptischen und chaldäischen Beobachtungen über die Sonne und Fixsterne stärker, als die Nothwendigkeit, worin er sich befand, bey seinen Theorien von der Sonne und dem Vorrücken der Nachtgleichen, die Beobachtungen der ersten Astronomen der alexandrinischen Schule zum Grunde zu legen. Er bestimmte die Länge des tropischen Jahres durch Vergleichung einer von seinen Beobachtungen des

Sommerstillstands der Sonne, mit einer solchen, welche Aristarchus von *Samos* 145 Jahre vorher angestellt hatte, und fand diese Länge 365, 24667 Tagen gleich. Sie ist ohngefähr um $4\frac{1}{2}$ Minute zu groſs; aber er bemerkte selbst die Ungenauigkeit einer auf die Beobachtung der Sonnenstillstände gegründeten Bestimmung, und den Vorzug, den die Beobachtungen der Nachtgleichen in dieser Absicht hätten. Hipparch erkannte ferner, daſs von der Frühlingsnachtgleiche bis zur Herbstnachtgleiche 187 Tage, hingegen von der lezteren bis zur ersteren nur 178 Tage verflössen; er beobachtet auch, daſs diese beyden Zwischenzeiten durch die Sonnenstillstände in ungleiche Theile getheilt würden, so daſs $94\frac{1}{2}$ Tage verflössen von der Frühlingsnachtgleiche bis zum Sommerstillstande der Sonne, hingegen $92\frac{1}{2}$ Tage von diesem Stillstande bis zur Herbstnachtgleiche. Um diese Unterschiede zu erklären, lieſs Hipparch die Sonne in einer kreisförmigen Bahn sich gleichförmig bewegen; aber an Statt die Erde in deren Mittelpunkt zu stellen, entfernte er sie um den vier und zwanzigsten Theil des Halbmessers davon, und sezte die Erdferne in den sechsten Grad der Zwillinge. Vermit-

telst dieser Bestimmungsstücke verfertigte er die ersten Sonnentafeln, deren die Geschichte der Astronomie Meldung thut. Die Mittelpunktsgleichung, welche sie voraussezen, war zu grofs; und es ist zu vermuthen, dafs ihre Vergleichung mit den Finsternissen, in welchen diese Gleichung mit der Jahrsgleichung des Monds vermehrt erscheint, Hipparchen in seinem Irrthume bestärkt, ja vielleicht solchen selbst veranlafst habe. Er täuschte sich auch darin, dafs er die elliptische Sonnenbahn als kreisförmig, und die wirkliche Geschwindigkeit dieses Gestirns als gleichförmig betrachtete. Wir sind heutzutage durch die Messungen ihres scheinbaren Durchmessers vom Gegentheile versichert; aber Beobachtungen dieser Art waren zu Hipparchs Zeiten unmöglich, und seine Sonnentafeln sind, troz ihrer Unvollkommenheit, ein bleibendes Denkmal seines Geistes, das Ptolemäus, dreyhundert Jahre nach ihm, so hoch schäzte, dafs er es nicht berührte. Nach diesem betrachtete dieser grofse Astronome die Bewegungen des Monds; er mafs seine Umlaufszeit durch Vergleichung der Finsternisse; er bestimmte die Excentricität und Neigung seiner Bahn, die Bewegungen seiner Knoten und sei-

ner Erdferne, nebst seiner Parallaxe, woraus er die der Sonne, vermittelst der Dicke des Schattenkegels der Erde, an der Stelle, wo der Mond bey seinen Verfinsterungen ihn durchschneidet, herzuleiten suchte, wodurch er ohngefähr auf Aristarchs Resultat kam. Er stellte eine grofse Menge von Planetenbeobachtungen an; weil er aber zu sehr Liebhaber der Wahrheit war, um über die Bewegungen derselben unsichere Theorien aufzustellen, so überliefs er seinen Nachfolgern das Geschäfte, solche zu Stande zu bringen.

Ein neuer Fixstern, der zu seiner Zeit erschien, gab ihm Veranlassung zur Verfertigung eines neuen Verzeichnisses dieser Sterne, um die Nachwelt in den Stand zu sezen, die Veränderungen, welche das Schauspiel des Himmels in der Folge der Zeit erleiden könnte, zu erkennen, und weil er überdies die Wichtigkeit eines solchen Verzeichnisses für die Beobachtungen des Monds und der Planeten empfand. Die Methode, deren er sich dazu bediente, ist die, welche Aristyllus und Timocharis schon angewandt hatten, und einerley mit der, welche wir im ersten Buche erläutert haben. Die Frucht dieser langen und mühsamen Unternehmung war die wich-

tige Entdeckung des Vorrückens der Nachtgleichen. Da nämlich Hipparchus seine eigenen Beobachtungen mit den von diesen Astronomen erhaltenen verglich, so erkannte er, dafs die Fixsterne ihre Lage gegen den Aequator geändert, aber die nämliche Breite über der Ekliptik behalten hätten, dafs man also, um diese verschiedenen Veränderungen zu erklären, nur der Himmelskugel eine rechtläufige Bewegung um die Pole der Ekliptik zu ertheilen brauchte, woraus eine rückläufige Bewegung der Nachtgleichen in Ansehung der Fixsterne folgte. Er stellte aber seine Entdeckung mit dem Vorbehalte dar, welchen die Ungenauigkeit der Beobachtungen des Aristyllus und Timocharis ihm eingeben mufste.

Die Geographie verdankt dem Hipparchus die Methode, die Oerter auf der Erde durch ihre Breite und Länge zu bestimmen, zu welcher lezteren Bestimmungsart er zuerst der Mondsfinsternisse sich bediente. Die zahlreichen Berechnungen, welche alle diese Untersuchungen erforderten, gaben der sphärischen Trigonometrie in seinen Händen das Daseyn. Seine vornehmsten Werke sind nicht auf uns gekommen, sondern mit der alexan-

Bibliothek verlohren gegangen,
n seine Arbeiten nur aus dem
lemäus.
t von beynahe dreyhun-
iese zwey Astronomen
enthält einige Be-
a, Menelaus und
nerken wir in dieser
erbesserung des Kalenders
Cäsar, und die genaue Kennt-
obe und Fluth des Meeres. Posi-
us erkannte die Geseze dieser Erschei-
ung, welche durch ihre offenbaren Bezie-
hungen auf die Bewegungen des Monds und
der Sonne der Astronomie angehört, und wo-
von der Naturkenner Plinius eine durch ihre
Genauigkeit merkwürdige Beschreibung ge-
geben hat.

Ptolemäus, gebohren zu *Ptolemais* in Egypten, lebte zu *Alexandria* um das Jahr 130 der christlichen Zeitrechnung. Hipparchus hatte den Vorsaz gefaſst, die Astronomie umzuschaffen, und ihr Lehrgebäude über einer neuen Grundlage aufzuführen. Ptolemäus nahm diesen Plan wieder vor, der zu groſs ist, um von einem einzigen Menschen ausgeführt zu werden; und in seinem groſsen

Werke, das den Titel: *Almagest*, führt, gab er eine vollständige Abhandlung von dieser Wissenschaft.

Seine wichtigste Entdeckung ist die der *Evection* des Monds. Bis auf ihn hatte man die Bewegungen dieses Gestirns blos in Beziehung auf die Finsternisse betrachtet; Ptolemäus hingegen, der sie durch seinen ganzen Lauf verfolgte, fand, dafs die Mittelpunktsgleichung der Mondsbahn in den Syzygien kleiner ist, als in den Quadraturen; er bestimmte das Gesez dieses Unterschieds, und sezte den Werth desselben mit grofser Genauigkeit vest. Um ihn darzustellen, liefs er den Mond auf einem Epicykel sich bewegen, der von einem excentrischen Kreise herumgeführt wird, nach der Methode, die man dem Geometer Apollonius zuschreibt, und deren auch Hipparchus sich bedient hatte.

Es war die allgemeine Meinung des Alterthums, dafs die gleichförmige und kreisförmige Bewegung, als die vollkommenste und einfachste, die der Gestirne seyn müfste. Dieser Irrthum hat sich bis auf Keplern erhalten, den er bey seinen Untersuchungen noch lange aufgehalten hat. Ptolemäus, der ihn auch annahm, und die Erde in den

ittelpunkt der himmlischen Bewegungen
ste, versuchte die Ungleichheiten derselben
ter diesen falschen Voraussezungen darzu-
llen.

In dieser Absicht war schon Eudoxus
rauf gefallen, jeden Planeten an mehrere
ncentrische und mit verschiedenen Bewe-
ngen versehene Sphären zu befestigen; da
er dieser Astronome nicht erklärt hatte, wie
ese Sphären, durch ihre Einwirkung auf die
aneten, alle in ihren Bewegungen beobach-
ten Verschiedenheiten hervorbrächten, so
rdient seine Hypothese kaum eine Erwäh-
ng in der Geschichte der Astronomie. Eine
el sinnreichere Vorstellungsart besteht darin,
ıfs man auf einer ersten Peripherie, deren
littelpunkt die Erde einnimmt, den Mittel-
ınkt einer zweyten sich bewegen läfst, auf
elcher sich wiederum der Mittelpunkt einer
ritten bewegt; und so fort bis zur lezten
eripherie, welche das Gestirn gleichförmig
eschreibt. Wenn der Halbmesser einer die-
er Peripherien die Summe der andern Halb-
ıesser übertrift, so ist des Gestirns scheinbare
ewegung um die Erde aus einer mittleren
leichförmigen Bewegung und aus mehreren
Ungleichheiten zusammengesezt, die von den

Verhältnissen abhangen, welche die Halbmesser der verschiedenen Pheripherien und die Bewegungen ihrer Mittelpunkte und des Gestirns zu einander haben; und man kann also durch Multiplication und gehörige Bestimmung dieser Gröſsen die Ungleichheiten dieser scheinbaren Bewegung darstellen. Dies ist die allgemeinste Art die Hypothese der Epicykeln und der excentrischen Kreise zu betrachten, welche Ptolemäus bey seinen Theorien der Sonne, des Monds und der Planeten annahm. Er sezte diese Gestirne in Bewegung um die Erde in folgender Ordnung der Entfernungen: *Mond*, *Merkur*, *Venus*, *Mars*, *Jupiter*, *Saturn*. In Ansehung des Plazes, den *Venus* und *Merkur* einnehmen müſsten, waren die Astronomen getheilt; die ältesten, deren Meinung Ptolemäus folgte, sezten sie unter die Sonne, einige andere aber über sie; die *Egypter* endlich lieſsen sie um dieses Gestirn sich bewegen. Es ist sonderbar, daſs Ptolemäus dieser lezteren Hypothese nicht einmal erwähnt hat, welche die Sonne in den Mittelpunkt der Epicykeln dieser beyden Planeten sezt, an Statt sie um einen erdichteten Mittelpunkt sich drehen zu lassen. Aber überzeugt, daſs sein System allein den drey oberen Plane-

ten gemäfs seyn könnte, wandte er es auch auf die zwey unteren an, und so wurde er durch eine falsche Anwendung des Grundsazes der Gleichförmigkeit der Naturgeseze irre geführt, welcher, wenn er von der Entdeckung der Egypter über die Bewegungen des Merkurs und der Venus ausgegangen wäre, ihn auf das wahre Weltsystem geleitet haben würde.

Wenn man vermittelst der Epicykeln den Ungleichheiten der scheinbaren Bewegung der Gestirne Genüge thun kann, so ist es unmöglich, zugleich auch die Veränderungen ihrer Entfernungen darzustellen. Zur Zeit des Ptolemäus waren diese Veränderungen in Ansehung der Planeten, deren scheinbare Durchmesser man damals nicht genau messen konnte, viel weniger merklich. Aber die Mondsbeobachtungen waren schon zureichend, ihm den Irrthum seiner Hypothesen zu zeigen, nach welchen des Monds Durchmesser in der Erdnähe bey den Quadraturen das Doppelte von seinem Durchmesser in der Erdferne bey den Syzygien seyn würde. Die Bewegungen der Planeten in der Breite brachten neue Verwirrungen in sein System; jede neue Ungleichheit, auf deren Entdeckung die Beobachtungskunst bey ihrer weiteren Vervollkommnung

führte, lud ihm einen neuen Epicykel auf; es verwickelte sich also, an Statt durch die weiteren Fortschritte der Astronomie bestättiget zu werden, immer mehr und mehr, und schon dieser einzige Umstand muſs uns überzeugen, daſs dieses System nicht das der Natur ist. Wiefern man es aber als ein Mittel betrachtet, die himmlischen Bewegungen der Berechnung zu unterwerfen, so macht dieser erste Versuch des menschlichen Geistes über einen so verwickelten Gegenstand dem Scharfsinne seines Urhebers Ehre.

Ptolemäus bestättigte die von Hipparchus entdeckte Bewegung der Nachtgleichen; durch Vergleichung seiner Beobachtungen mit den Beobachtungen dieses groſsen Astronomen erwies er ferner die reſpective Unbeweglichkeit der Fixsterne, ihre beständige Breite über der Ekliptik, und ihre Bewegung in der Länge, deren jährliche Gröſse er zu 111″ fand, wie Hipparchus sie vermuthet hatte. Wir wissen heutzutage, daſs diese Gröſse sehr nahe 154″ war, was nach dem Zeitraume, um welchen die Beobachtungen des Hipparchus und Ptolemäus von einander entfernt sind, einen Irrthum von mehr als einem Grade in ihren Beobachtungen

vorauszusezen scheint. Der Schwierigkeit ungeachtet, womit die Bestimmung der Länge der Fixsterne für die Beobachter verbunden war, welche kein genaues Zeitmaafs hatten, wundert man sich doch, dafs sie so grofse Fehler begangen haben, besonders wenn man die Uebereinstimmung der Beobachtungen betrachtet, welche Ptolemäus zur Stüze seines Resultats macht. Man hat ihm vorgeworfen, dafs er sie abgeändert habe, aber dieser Vorwurf ist ungegründet; sein Irrthum in der jährlichen Bewegung der Nachtgleichen scheint von seinem allzugrofsen Vertrauen auf die Resultate des Hipparchus über die Gröfse des tropischen Jahres und die Bewegung der Sonne herzukommen. In der That hat Ptolemäus die Länge der Sterne durch ihre Vergleichung, theils mit der Sonne vermittelst des Monds, theils mit dem Monde selbst, bestimmt, wobey es darauf ankam, sie mit der Sonne zu vergleichen, weil die synodische Bewegung des Monds durch die Finsternisse genau bekannt war; da nun Hipparchus das Jahr zu lang, und folglich die Bewegung der Sonne in der Länge zu klein angenommen hatte, so ist klar, dafs dieser Irrthum die Längen der Sonne und des Monds, deren Ptolemäus

sich bediente, vermindern mufste. Die Bewegung in der Länge, die er den Fixsternen beylegte, ist also um einen, von der Sonne in der Zeit, um welche Hipparchus in der Bestimmung der Länge des Jahres gefehlt hat, beschriebenen Bogen zu klein.

Zur Zeit des Hipparchus war die Gröfse des tropischen Jahrs 365,24234 Tage; dieser grofse Astronome sezte sie auf 365,24667; der Unterschied ist 433″, und in dieser Zeit durchläuft die Sonne einen Bogen von 47″. Sezt man diese zu der durch Ptolemäus bestimmten jährlichen Präcession von 111″, so erhält man 158″ für die Präcession, die er gefunden haben würde, wenn er von der wahren Gröfse des tropischen Jahres ausgegangen wäre, und alsdann würde er nur um 4″ gefehlt haben.

Diese Bemerkung giebt uns Anlafs zu der Untersuchung, ob, wie man allgemein glaubt, das Sternverzeichnifs des Ptolemäus blos das vom Hipparchus verfertigte und vermittelst einer jährlichen Präcession von 111″ für die Zeit des ersteren eingerichtete sey. Man gründet diese Meinung darauf, dafs der beständige Irrthum der Längen der Sterne in diesem Verzeichnisse verschwindet, wenn man es auf

Hipparchs Zeit bezieht. Aber die Erklärung, die wir von diesem Irrthume gegeben haben, rechtfertigt den Ptolemäus gegen den Vorwurf, dafs er Hipparchs Werk sich zugeeignet habe, und es scheint der Gerechtigkeit gemäfs, ihm zu glauben, wenn er bestimmt sagt, dafs er die Sterne seines Verzeichnisses, selbst die von der sechsten Gröfse, beobachtet habe. Er bemerkt zugleich, dafs er die Lagen der Fixsterne, welche Hipparchus in Beziehung auf die Ekliptik bestimmt hatte, wiederum beynahe eben so gefunden hätte, dafs also die Unterschiede dieser Lagen in beyden Verzeichnissen unbeträchtlich gewesen seyn müssen. Die Sternbeobachtungen des Ptolemäus und der wahre Werth den er der Evection gegeben hat, bürgen also für seine Genauigkeit als Beobachter. In der That sind die drey von ihm beobachteten Nachtgleichen fehlerhaft; es scheint aber, dafs er, weil er für Hipparchs Sonnentafeln zu sehr eingenommen gewesen, seine Beobachtungen der Nachtgleichen, die damals gar nicht leicht waren, und deren Fehler sich schon aus einer Unordnung seines Armillarinstruments zureichend erklären lassen, mit denselben in Uebereinstimmung gebracht habe.

Das von Ptolemäus aufgeführte Lehrgebäude der Astronomie hat sich beynahe vierzehnhundert Jahre lang erhalten; und selbst heutzutage noch, da es nun gänzlich zerstört ist, bleibt sein Almagest, das als die Niederlage der alten Beobachtungen anzusehen ist, eins der schäzbarsten Denkmäler des Alterthums.

Auch der Geographie hat Ptolemäus keine geringeren Dienste erwiesen, dadurch dafs er alle Bestimmungen der Länge und Breite der bekannten Oerter sammelte, und zu der Projections-Methode für die Verfertigung der geographischen Charten den Grund legte. Er hat aufserdem ein grofses Werk über die Optik verfertiget, das nicht auf uns gekommen ist, und worin er die Erscheinung der astronomischen Stralenbrechungen erklärt zu haben scheint; endlich hat er noch verschiedene Abhandlungen über die Chronologie, Musik, Gnomonik und Mechanik geschrieben. So viele Arbeiten über so vielerley Gegenstände sezen einen grofsen Geist voraus, und versichern ihm eine ausgezeichnete Stelle in der Geschichte der Wissenschaften. Da, bey der Erneuerung der Astronomie, sein System dem der Natur Plaz machen mufste, so rächte man sich an seinem Urheber wegen des Despotis-

mus,

mus, womit er zu lange geherrscht hatte. Man klagte den Ptolemäus an, daſs er die Entdeckungen seiner Vorgänger sich zugeeignet hätte; aber zu seiner Zeit waren die Werke des Hipparchus und der übrigen alexandrinischen Astronomen bekannt genug, um ihn zu entschuldigen, daſs er das, was ihnen angehörte, von seinen eigenen Entdeckungen nicht unterschied. Was die allzulange Herrschaft seiner Irrthümer betrift, so muſs man diese den Ursachen zuschreiben, welche Europa wieder in die Unwissenheit gestürzt haben. Das Ansehen des Ptolemäus hat mit dem des Aristoteles und Des Cartes einerley Schicksal gehabt. Kaum hatte man ihre Irrthümer erkannt, so gieng man von einer blinden Bewunderung zu einer ungerechten Verachtung über. Denn selbst in den Wissenschaften sind die nüzlichsten Revolutionen nie von Leidenschaft und Ungerechtigkeit frey gewesen.

Drittes Kapitel.

Von der Astronomie der Araber, Chinesen und Perser.

Mit den Arbeiten des Ptolemäus endigte sich der Ruhm der alexandrinischen Schule. Zwar erhielt sie sich noch fünfhundert Jahre lang, aber die Nachfolger des Hipparchus und Ptolemäus schränkten sich darauf ein, die Werke dieser zu erklären, und fezten zu ihren Entdeckungen nichts merkwürdiges hinzu.

Das von Eroberungssucht beherrschte, durch innere Unruhen erschütterte, durch die Bürgerkriege, worin seine unruhige Freyheit endlich erlosch, um dem kriegerischen und oft wüthenden Despotismus seiner Kaiser Plaz zu machen, mit Blute überströmte Rom, that, ungeachtet es lange Zeit der Siz der Tugenden, des Ruhms und der Gelehrsamkeit war, nichts für die Wissenschaften; keine einzige, ihrer Aufnahme zuträgliche, Anstalt wurde von den Römern gestiftet oder beschüzt. Die Zertrümmerung des Reichs, eine unvermeidliche Folge seiner zu grosen Ausdehnung, führte ihren Verfall mit sich; und die Fackel der Wissenschaften wurde, nach ihrem Erlöschen unter

den Einfällen der Barbaren, nur bey den Arabern wieder angesteckt.

Kaum hatte dieses, durch Fanatismus über das Gewöhnliche erhabene, Volk, nachdem es seine Religion und seine Eroberungen über einen grofsen Theil der Erde verbreitet hatte, die Annehmlichkeiten des Friedens gekostet, als es sich den Wissenschaften und der Gelehrsamkeit mit Eifer ergab. Kurze Zeit vorher hatte es durch Einäscherung der berühmten alexandrinischen Bibliothek das schönste Denkmal derselben zerstört. Umsonst bat der Philosophe Philoponus inständig um ihre Erhaltung. „*Wenn diese Bücher*, antwortete Omar, *dem Koran gemäfs sind, so sind sie unnüz, wenn sie ihm aber widersprechen, so sind sie verabscheuungswürdig.* So ging dieser unermefsliche Schaz von Gelehrsamkeit und Erfindung verlohren. Bald folgten Reue und Klagen auf diese barbarische Handlung, und die Araber erkannten bald, dafs sie durch diesen unersezlichen Verlust sich selbst der kostbarsten Frucht ihrer Eroberungen beraubt hätten.

Unter den *Chalifen*, welche ihre Liebe zur Astronomie auszeichneten, nennt die Geschichte hauptsächlich den Almamun, einen Fürsten aus der Familie der Abassiden, und

Sohn des in Asien so berühmten Harun Al Raschid, welcher zu Babylon um das Jahr 814 regierte. Nachdem er den griechischen Kaiser Michael III. überwunden hatte, legte er ihm unter andern Friedensbedingungen auch diese auf, dafs ihm die besten griechischen Schriften überliefert würden. Unter diesen befand sich das Almagest, welches er übersezen liefs; und auf solche Art verbreitete er unter den Arabern die astronomischen Kenntnisse, wodurch die alexandrinische Schule sich berühmt gemacht hatte. Er begnügte sich nicht damit die Gelehrten durch Wohlthaten aufzumuntern, sondern war selbst Beobachter; er bestimmte die Schiefe der Ekliptik, und liefs einen Grad der Erde in einer grofsen Ebene von Mesopotamien messen.

Die durch diesen Fürsten und seine Nachfolger der Astronomie gewidmeten Aufmunterungen brachten eine grofse Anzahl geschickter Astronomen hervor, unter welchen Al Batani (Albatagnius) den ersten Plaz behauptet. Von ihm hat man eine Beobachtung der Schiefe der Ekliptik, welche von Refraction und Parallaxe befreyet, 26°,2182 für diese Schiefe um das Jahr 880 giebt. Alle arabischen Beobachtungen geben ohngefähr das

nämliche Resultat, woraus man eine hundertjährige Abnahme von ohngefähr 159″ herleitet.

Al Batani fand die jährliche Bewegung der Nachtgleichen 168″,3, und die Länge des tropischen Jahres 365,24056 Tagen gleich. Das erste dieser Elemente ist um 14″ zu grofs; das zweyte um mehr als 1½ Minuten zu klein; aber diese Fehler hangen lediglich von den Beobachtungen des Ptolemäus ab, womit Al Batani die seinigen verglich; und er würde der Wahrheit viel näher gekommen seyn, wenn er die des Hipparchus dazu gebraucht hätte.

Dieser grofse Astronome vervollkommnete die Theorie der Sonne; er sezte die Entfernung des Mittelpunkts der Erde von dem ihrer Bahn, diese Bahn für kreisförmig und ihren Halbmesser für die Einheit angenommen, auf 0,03465, welches für die Excentricität der Sonnen-Ellipse 0,017325 giebt. Um den Anfang des Jahrs 1750 war sie 0,016814; ihre Abnahme in einem Zeitraume von ohngefähr 870 Jahren hätte also 0,00511 betragen.

Die Theorie der Schwere giebt, wenn man die wahrscheinlichsten Werthe der Massen der Planeten annimmt, 0,003967 für diese Abnahme; der Unterschied liegt in den Grenzen

der Fehler, deren diese Werthe, und die Beobachtungen des Al Batani fähig sind.

Eben diese Beobachtungen führten ihn auf die Entdeckung der eigenen Bewegung der Erdferne der Sonne; er beobachtete sie in 24°,76 der Zwillinge seit Hipparchus Zeiten mehr vorgerückt, als sie es blos nach dem Verhältnisse der Bewegung der Nachtgleichen hätte seyn sollen. Nach unsern besten Tafeln war der Ort der Erdferne im Jahre 880 in 26°,23 der Zwillinge; Al Batani hat also bey seiner Bestimmung nur um $1\frac{1}{2}$ Grade gefehlt, welches, bey einem so feinen Elemente, für sein Jahrhundert eine grofse Genauigkeit ist. Diese Resultate sind nicht nur durch ihre Genauigkeit, sondern besonders auch deſswegen schäzbar, weil sie die einzigen sind, welche für die, durch die Theorie der Schwere und die seculare Gleichung des Monds erwiesene Abnahme der Excentricität der Sonnenbahn, eine directe Bestättigung abgeben. Sie müssen zu der Beobachtung der Schiefe der Ekliptik, wovon Al Batani sagt, dafs sie sorgfältig, vermittelst einer langen Alhidade, und unter Befolgung aller im Almageste angezeigten Vorsichtsregeln, angestellt worden sey, ein grofses Vertrauen erwecken.

Diese Arbeiten des Al Batani finden sich in seinem auf uns gekommenen Werke *über die Sternwissenschaft.* Aufser dem sind zwey Sonnenfinsternisse und eine Mondsfinsternifs, die in den Jahren 977, 978, 979 von Ibn Jonis bey *Cairo* beobachtet worden, und zur Kenntnifs der Beschleunigung der Mondsbewegung geführt haben, das wichtigste, was uns die Astronomie der Araber gewährt. Einzig mit Beobachtungen beschäftigt, forschten sie nicht nach den Ursachen der himmlischen Erscheinungen, und änderten nichts an dem ptolemäischen Systeme.

Die *Perser*, welche lange Zeit einerley Fürsten mit den Arabern unterworfen gewesen waren, und einerley Religion bekannt hatten, schüttelten um die Mitte des eilften Jahrhunderts das Joch der Chalifen ab. Um diese Zeit erhielt ihr Kalender durch die Bemühungen des Astronomen Omar Cheyam eine neue Gestalt, die sich auf die sinnreiche Einschaltungsart gründete, nach welcher auf 33 Jahre 8 Schaltjahre kamen. Holagu Ilekan, einer ihrer Fürsten, versammelte die geschicktesten Astronomen in *Maragha*, wo er eine prächtige Sternwarte bauen liefs, über welche er dem Nasireddin die Aufsicht anvertrauete. Aber

kein Fürst von dieser Nation zeichnete sich durch seinen Eifer für die Astronomie mehr aus, als Ulugh Beigh, den man zu den gröfsten Beobachtern zählen mufs. Er verfertigte selbst in *Samarcand*, der Hauptstadt seiner Staaten, ein neues Fixstern-Verzeichnifs, und die besten Sonnen- und Planetentafeln, die man vor Tycho Brahe hatte. Er sezte das jährliche Vorrücken der Nachtgleichen auf 159″, und mafs im Jahre 1437 mit einem grossen Instrumenten-Vorrathe die Schiefe der Ekliptik, die er 26°,1475 gleich fand.

Anderthalbhundert Jahre früher zeigt uns die *chinesische* Astronomie mehrere von Cheou-King, einem sehr geschickten Astronomen, vermittelst eines sehr hohen Gnomons mit vieler Sorgfalt angestellte Sonnenbeobachtungen. La Caille hat die Länge des Jahrs übereinstimmend mit der von uns angenommenen daraus hergeleitet; und die Schiefe der Ekliptik 26°,1519 gleich für das Jahr 1218, als die Epoche dieser Beobachtungen, woraus eine hundertjährige Abnahme von 153″ folgt; und ich selbst gründete die Angabe dieser Abnahme von 154″,3 hauptsächlich auf diese Beobachtungen und auf die des Al Batani. Die Geschichte der chinesischen Astronomie er-

wähnt auch noch einiger Sternbedeckungen durch die Planeten, und einer grofsen Anzahl von Sonnen- und Mondsfinsternissen. Ohne Zweifel sind unter den Handschriften, welche unsere Bibliotheken enthalten, noch andere Beobachtungen vorhanden, welche über die Theorie der secularen Ungleichheiten der himmlischen Bewegungen und über den wahren Werth der Massen der Planeten, einen der wichtigsten Gegenstände, dessen Berichtigung die neuere Astronomie noch wünschen läfst, viel Licht verbreiten würden. Die Untersuchung dieser Beobachtungen mufs besonders die Aufmerksamkeit in den morgenländischen Sprachen geübter Gelehrten beschäftigen; denn es ist gewifs nicht minder wichtig, die grofsen Veränderungen des Weltsystems kennen zu lernen, als die Revolutionen der Reiche.

Viertes Kapitel.

Von der Astronomie im neueren Europa.

Das neue Europa verdankt den Arabern die ersten Lichtstralen, welche die Finsternisse zerstreuet haben, worin es mehr, als zwölfhundert Jahre lang eingehüllet gewesen war. Sie waren unsere Lehrer, wie vormals die

Egypter die Lehrer der Griechen waren, und, durch ein besonderes Verhängniſs, sind die Wissenschaften, die sie uns überliefert haben, bey diesen Völkern verschwunden, wie die Astronomie aus den Tempeln von Egypten und Chaldäa in eben dem Maaſse verschwand, als sie in der Schule zu Alexandria Fortschritte machte.

Alphonsus, König von *Castilien*, war einer der ersten Fürsten, welche die in Europa wieder auflebende Astronomie begünstigten. Diese Wissenschaft zählt wenig so eifrige Beschützer; er wurde aber von den Astronomen, die er mit groſsen Kosten um sich versammelt hatte, schlecht unterstüzt, und die von ihnen verfertigten Tafeln standen mit dem auſserordentlichen Aufwande, den sie veranlasset hatten, in keinem Verhältnisse. Als ein Mann von einem richtigen Blicke fand Alphonsus das Gewirre so vieler Kreise, worin man die Himmelskörper sich bewegen lieſs, anstöſsig; denn er dachte, die Mittel der Natur müſsten viel einfacher seyn. Deſswegen sagte er einmal: „*Hätte Gott mich zu Rathe ziehen wollen, so würden die Dinge in eine bessere Ordnung gekommen seyn.*" Durch diese Aeuſserung, die man ihm als eine Vermessenheit angerechnet

hat, gab er zu verstehen, dafs man noch weit entfernt wäre, den Mechanismus des Weltgebäudes zu kennen.

Zur Zeit des Alphonsus zeichnete sich der teutsche Kaiser Friedrich II. durch seine Liebe zu der Astronomie aus. Seinen Aufmunterungen verdankt man die erste lateinische Uebersezung des Almagests, die nach einer arabischen Handschrift gemacht wurde, weil die griechische Sprache damals in diesen Gegenden unbekannt war.

Wir kommen endlich auf die berühmte Epoche, da die Astronomie einen schnellen Schwung nahm, und durch ununterbrochene Fortschritte sich zu der Höhe erhob, auf welcher wir sie jezt sehen.

Peurbach, Regiomontan und Walther bereiteten der Astronomie diese glückliche Zeit vor; und Copernicus brachte sie durch die glücklichen Erklärungen der himmlischen Erscheinungen, vermittelst der Bewegungen der Erde um sich selbst, und um die Sonne, zum Daseyn. Da ihm, wie dem Alphonsus, die äufserste Verwickelung des ptolemäischen Systems anstöfsig war, so suchte er bey den alten Philosophen eine einfachere Anordnung des Weltgebäudes. Er sahe, dafs

die Egypter die Venus und den Merkur um die Sonne in Bewegung gesezt hätten; dafs Nicetas, nach der Erzählung des Cicero, die Erde sich um ihre Axe drehen lassen, und dadurch die Himmelskugel von der unbegreiflichen Geschwindigkeit befreyet hätte, die man ihr hatte ertheilen müssen, um ihre tägliche Umwälzung zu Stande zu bringen. Aristoteles und Plutarchus lehrten ihn, dafs die *Pythagoräer* die Erde und die Planeten um die Sonne, die sie in den Mittelpunkt der Welt sezten, sich hätten bewegen lassen. Diese lichtvollen Vorstellungen überraschten ihn, er wandte sie auf die astronomischen Beobachtungen an, welche die Zeit beträchtlich vervielfältiget hatte, und er hatte die Genugthuung zu sehen, dafs sie ohne Zwang sich nach der Theorie der Bewegungen der Erde bequemten. Die von Ptolemäus zur Erklärung der bald rechtläufigen, bald rückläufigen Bewegungen der Planeten ausgedachten Kreise verschwanden, und Copernicus sahe in diesen sonderbaren Ereignissen blos durch die Verbindung der Bewegung der Erde mit denen der Planeten bewirkte Erscheinungen. Die tägliche Bewegung aller Gestirne war blos die Umdrehungsbewegung der Erde, und das

Vorrücken der Nachtgleichen verwandelte sich in eine kleine Bewegung der Erdaxe. Endlich kündigte alles in diesem Systeme jene schöne Einfachheit an, die uns bey den Mitteln der Natur bezaubert, wenn wir glücklich genug sind, sie zu entdecken. Copernicus machte es in seinem Werke, *über die Umläufe der Himmelskörper*, bekannt; und um die angenommenen Vorurtheile nicht dagegen zu empören, stellte er es nur als eine Hypothese dar. „Da die Astronomen, sagt er in seiner Zueignungsschrift, an den Pabst Paul III. sich die „Freyheit genommen haben, Kreise auszudenken, um die Bewegungen der Gestirne zu „erklären, so glaubte ich eben sowohl mir die „Freyheit nehmen zu dürfen, zu untersuchen, „ob die Voraussezung der Bewegung der Erde „die Theorie dieser Bewegungen nicht genauer „und einfacher mache." Diesem grofsen Manne ward es nicht verstattet, noch selbst ein Zeuge von dem Fortgange seines Werks zu werden; er starb fast plözlich am Blutgange in einem Alter von 71 Jahren, wenige Tage nachdem er das erste Exemplar davon erhalten hatte. Er war zu *Thorn* im polnischen Preussen den 19ten Januar 1472 gebohren; lernte im Hause seines Vaters die griechische und

lateinische Sprache, und gieng alsdann, um seine Studien fortzusezen, nach *Cracow*. In der Folge wurde er durch seinen Geschmack an der Astronomie, und durch das Ansehen, das Regiomontanus sich erworben hatte, hingerissen, und der Wunsch, ihm gleich zu kommen, bestimmte ihn zu einer Reise nach Italien, wo diese Wissenschaft mit Erfolge vorgetragen wurde. Er besuchte zu *Bologna* die Vorlesungen des Dominicus Maria. Da er nach Rom kam, erwarb er sich durch seine Talente eine öffentliche Lehrstelle; endlich verliefs er diese Stadt, um seinen Wohnsiz in *Frauenburg* zu nehmen, wo sein Oheim, der damalige Bischoff von Wermeland ihm ein Canonicat verschafft hatte. In diesem ruhigen Aufenthalte brachte er durch 36 Jahre lang fortgesezte Beobachtungen und Betrachtungen seine Theorie der Bewegungen der Erde zu Stande. Nach seinem Tode wurde er in der Domkirche zu *Frauenburg*, ohne Gepränge und Denkmal, begraben; aber sein Andenken wird eben so lange dauern, als die grofsen Wahrheiten, die er, mit einer solchen Klarheit, dafs sie endlich die Täuschungen der Sinne zerstreuten, und die Schwierigkeiten, welche Unbekanntschaft mit den Gesezen der

ihnen entgegensezte, überwanden,
lauf gebracht hat.

heiten hatten noch mit Hin-
andern Art zu kämpfen,
einem verehrten Boden
ickt haben würden,
nnellen Forschritte aller
Wissenschaften zusammenge-
n, um sie zu bevestigen. Die Re-
wurde zur Hülfe gerufen, um ein astro-
misches System zu zerstören, und man
quälte durch wiederholte Verfolgungen, einen
der Vertheidiger desselben, dessen Entdeckun-
gen seinem Jahrhunderte und seinem Vater-
lande Ehre machten. Rhäticus, ein Schüler
des Copernicus, war der erste, der seine
Vorstellungen annahm, aber sie machten we-
nig Glück, bis auf den Anfang des siebzehnten
Jahrhunderts, wo sie solches hauptsächlich
den Arbeiten und Schicksalen des Galilei
zu danken hatten.

Ein glücklicher Zufall veranlassete die
Bekanntmachung des bewundernswürdigsten
Werkzeugs, welches der menschliche Kunst-
fleifs erfunden hat, und welches dadurch, dafs
es den astronomischen Beobachtungen eine
unerwartete Ausdehnung und Genauigkeit gab,

am Himmel neue Ungleichheiten und neue Welten wahrnehmen liefs.

Galilei hatte kaum von den ersten Versuchen mit dem Teleskope Nachricht erhalten, als er sich beeiferte, es zu vervollkommnen. Da er es nach den Sternen richtete, erkannte er die Lichtgestalten der Venus, welche Copernicus aus seiner Theorie geschlossen hatte, und von dieser Zeit an zweifelte er nicht mehr an der Bewegung dieses Planeten um die Sonne. Die Jupiterstrabanten, die er in der Folge entdeckte, zeigten ihm eine neue Aehnlichkeit der Erde mit den Planeten. Endlich beobachtete er noch die Sonnenflecken, und die Erscheinungen des Rings vom Saturn. Da er diese Entdeckungen bekannt machte, zeigte er zugleich, dafs sie die Bewegungen der Erde unwidersprechlich bewiesen. Aber die Vorstellung dieser Bewegung wurde durch eine Versammlung der Kardinäle für kezerisch erklärt, Galilei, ihr berühmtester Vertheidiger für das Inquisitionsgericht gefordert, und genöthiget, sie zu widerrufen, um einem harten Gefängnisse zu entgehen.

Bey dem Manne von Geist ist die Leidenschaft für die Wahrheit eine der stärksten Leidenschaften. Ueberzeugt, dafs man, um ihr

Eingang

Eingang zu verschaffen, sie nur ins Licht zu sezen brauche, brennt er vor Verlangen, sie auszubreiten, und die Hindernisse, die man ihm entgegensezt, dienen, da sie ihm Irrthum und Ungerechtigkeit im Bunde zeigen, um sie zu zerstören, blos dazu, ihn noch mehr zu reizen, und seine Kraft noch höher zu spannen. Galilei, durch seine eigenen Beobachtungen von der Bewegung der Erde überzeugt, dachte lange Zeit auf ein neues Werk, worin er alle Beweise dafür zu entwickeln sich vorgenommen hatte.

Aber um sich zugleich der Verfolgung zu entziehen, deren Opfer er hätte werden müssen, wählte er die Auskunft, sie in der Form von Dialogen zwischen drey Personen, deren eine das copernicanische System gegen die Angriffe eines *Peripatetikers* vertheidigt, darzustellen. Man sieht wohl, dafs der Vortheil auf der Seite des Vertheidigers dieses Systems war; da aber Galilei nicht zwischen ihnen entschied, und den Einwürfen der Anhänger des Ptolemäus so viel Gewicht gab, als nur möglich war, so durfte er wohl erwarten, im Genusse der Ruhe, die sein hohes Alter und seine Arbeiten verdienten, nicht gestört zu werden. Die Aufnahme dieser Dialogen, und die siegreiche Art, womit in denselben alle

Schwierigkeiten gegen die Bewegung der Erde gehoben waren, machten die Inquisition wieder aufmerksam. Galilei wurde in seinem siebzigsten Jahre aufs neue vor dieses Tribunal gefordert, und selbst die Verwendung des Grofsherzogs von Toskana konnte ihn der Nothwendigkeit, daselbst zu erscheinen, nicht überheben. Man schlofs ihn in ein Gefängnifs ein, wo man eine zweyte Wiederrufung seiner Meynungen von ihm forderte, unter Androhung der für die wieder abgefallenen Kezer bestimmten Strafe, wenn er fortfahren würde, das copernicanische System bekannt zu machen. Man liefs ihn folgende Abschwörungsformel unterschreiben: „Ich Galilei, der ich „in meinem siebzigsten Jahre mich persönlich „vor dem Gerichte eingefunden, auf den Knieen „liegend, und die Augen auf die heiligen Evan„gelien, die ich mit meinen Händen berühre, „gerichtet, schwöre ab, verfluche und ver„wünsche mit redlichem Herzen und wahrem „Glauben die Ungereimtheit, Falschheit und „Kezerey der Lehre von der Bewegung der „Erde etc." Welch ein Anblick war das, einen ehrwürdigen Greis, berühmt durch ein langes, der Erforschung der Natur einzig gewidmetes Leben, gegen das Zeugnifs seines eigenen Ge-

wissens die Wahrheit, die er mit Ueberzeugungskraft erwiesen hatte, auf den Knieen abschwören zu sehen! Ein Urtheil der Inquisition verdammte ihn zu immerwährender Gefangenschaft. Ein Jahr hernach wurde er, auf die Verwendungen des Grofsherzogs, in Freyheit gesezt; um ihm aber unmöglich zu machen, der Gewalt der Inquisition sich zu entziehen, wurde ihm verboten, das Gebiet von *Florenz* zu verlassen. Er war im Jahr 1564 zu *Pisa* (nach andern zu *Florenz*) gebohren, und kündigte schon frühe die Anlagen an, die er in der Folge entwickelte. Die Mechanik verdankt ihm viele Entdeckungen, worunter die wichtigste seine Theorie des Falls der Körper ist. Galilei war mit dem Schwanken des Monds beschäftiget, als er das Gesicht verlor, und drey Jahre nachher starb er zu Arcetri im Jahre 1642. Seinen Verlust betrauerte Europa, das durch seine Arbeiten erleuchtet, und über das von einem verhafsten Tribunale gegen einen so grofsen Mann gefällte Urtheil aufgebracht war.

Während dies in Italien vorging, entdeckte Kepler in Teutschland die Bewegungsgeseze der Planeten. Ehe wir aber seine Entdeckungen erzählen, wird es gut seyn, uns

weiter hinauf zu begeben, und die Fortschritte der Astronomie im Norden von Europa, seit dem Tode des Copernicus bekannt zu machen.

Die Geschichte dieser Wissenschaft zeigt uns um diese Zeit eine grofse Anzahl vortrefflicher Beobachter. Einer der berühmtesten war Wilhelm IV. Landgraf von Hessen-Cassel. Er liefs zu Cassel eine Sternwarte erbauen, die er mit sorgfältig gearbeiteten Werkzeugen versahe, und auf welcher er lange Zeit selbst beobachtete. Er nahm zwey vorzügliche Astronomen, Rothmann und Just Byrgius zu sich; und Tycho verdankte seinen dringenden Verwendungen die Vortheile, welche König Friedrich von *Dänemark* ihm verwilligte.

Tycho Brahe, einer der gröfsten Beobachter, die gelebt haben, war zu *Kundsturp* in *Norwegen* gebohren. Sein Geschmack an der Astronomie zeigte sich von seinem vierzehnten Jahre an, aus Gelegenheit einer Sonnenfinsternifs, die im Jahre 1560 sich ereignete. In diesem Alter, wo das Nachdenken so selten ist, flöfste die Richtigkeit der Berechnung, welche diese Erscheinung angekündiget hatte, ihm ein lebhaftes Verlangen ein, die Gründe davon kennen zu lernen; und dies Verlangen wurde

durch die Hindernisse, die ihm von seinem Erzieher und seiner Familie entgegengesezt wurden, nur noch vermehrt. Er reisete nach Teutschland, wo er Verbindungen des Briefwechsels und der Freundschaft mit den vorzüglichsten Gelehrten und Liebhabern der Astronomie, und besonders mit dem Landgrafen von Hessen-Cassel errichtete, der ihn auf die schmeichelhafteste Art aufnahm. Nach seiner Zurückkunft in sein Vaterland wurde er durch seinen Monarchen Friedrich, der ihm die kleine Insel *Hween* im *Oeresund* schenkte, bestimmt, sich daselbst vestzusezen. Er bauete hier eine berühmte Sternwarte unter dem Namen *Uranienburg*, wo er während eines Aufenthalts von 21 Jahren einen ungeheuren Haufen von Beobachtungen sammelte, und mehrere wichtige Entdeckungen machte. Nach Friedrichs Tode bekam der Neid gegen Tycho freyen Spielraum, und nöthigte ihn, seinen stillen Wohnsiz zu verlassen. Seine Zurückkunft nach *Kopenhagen* befriedigte die Wuth seiner Verfolger nicht. Ein Minister (sein Name muſs, wie die Namen aller derer, die ihre Gewalt gemiſsbraucht haben, um die Fortschritte der Vernunft aufzuhalten, der Verwünschung aller Zeitalter Preis gegeben wer-

den) Walchendorp brachte es dahin, daſs ihm verboten wurde, seine Beobachtungen fortzusezen. Glücklicherweise fand Tycho wieder einen mächtigen Beschüzer an dem Kaiser Rudolph II., der ihn gegen eine ansehnliche Besoldung zu sich nahm, und ihm zu Prag eine bequeme Wohnung anwies. In dieser Stadt raffte ihn ein unvermutheter Tod den 24ten October 1601 mitten aus seinen Arbeiten und in einem Alter hinweg, wo die Astronomie noch groſse Dienste von ihm erwarten konnte.

Erfindungen neuer Werkzeuge, neue Verbesserungen älterer, eine viel gröſsere Genauigkeit bey den Beobachtungen, ein weit vorzüglicheres Fixstern-Verzeichniſs, als das von Hipparchus und Ulug Beigh, die Entdekkung der Ungleichheit des Monds, die man die *Variation* nennt, die Entdeckung der Bewegung der Knoten und der Neigung der Mondsbahn, die wichtige Bemerkung, daſs die Kometen jenseits dieser Bahn sind, eine vollkommenere Kenntniſs von den astronomischen Stralenbrechungen, endlich sehr zahlreiche Beobachtungen der Planeten, welche Keplers Entdeckungen zur Grundlage gedient haben, dies sind die wichtigsten Dienste, welche

Tycho Brahe der Astronomie erwiesen hat. Eingenommen von den Einwendungen, welche die Gegner des Copernicus der Bewegung der Erde entgegensezten, und vielleicht auch verleitet durch die Eitelkeit, seinen Namen einem astronomischen Systeme zu geben, verkannte er das der Natur. Nach ihm ist die Erde im Mittelpunkte des Weltalls unbeweglich; alle Gestirne bewegen sich täglich um die Weltaxe, und die Sonne führt bey ihrem jährlichen Umlaufe die Planeten mit sich fort. In diesem schon bekannten Systeme sind die Erscheinungen die nämlichen, wie in dem der Bewegung der Erde. Man kann überhaupt jeden beliebigen Punkt, z. B. den Mittelpunkt des Monds, als unbeweglich betrachten, wenn man nur die Bewegung, von welcher er getrieben wird, allen Sternen in entgegengesezter Richtung ertheilt. Ist es aber nicht physisch ungereimt, anzunehmen, dafs die Erde im Weltraume ruhe, während die Sonne die Planeten fortführt, in deren Mitte sie selbst eingeschlossen ist? Sollte wohl die bey der Hypothese von der Bewegung der Erde mit der Umlaufszeit der Erde um die Sonne so gut übereinstimmende Entfernung beyder einem Geiste, der die Stärke der Analogie zu empfin-

den vermag, noch einen Zweifel an der Wahrheit dieser Hypothese übrig lassen können?

Man muſs gestehen: Tycho, obschon ein groſser Beobachter, war in Erforschung der Ursachen nicht glücklich; sein unphilosophischer Geist war sogar von den Vorurtheilen der *Astrologie* angesteckt, die er auch zu vertheidigen versuchte.

In seinen lezten Jahren hatte Tycho einen Schüler und Gehülfen an Keplern, der im Jahre 1571 zu Weil *) im Herzogthum *Wirtemberg* gebohren, und einer von den seltenen Menschen war, welche die Natur von Zeit zu Zeit den Wissenschaften schenkt, um durch sie groſse Theorien, die durch die Arbeiten mehrerer Jahrhunderte vorbereitet waren, zu Stande zu bringen. Die wissenschaftliche Laufbahn schien ihm anfänglich nicht sehr geschickt, seinen Durst nach Ruhm zu befriedigen; aber die Ueberlegenheit seines Geistes und die Aufmunterungen Mästlins führten

*) Im astron. Jahrbuche f. 1791 sagt der gelehrte Herr Pfarrer Wurm: „Ob Kepler zu Mogstätt oder zu Weil gebohren sey, wird, nach Vollendung aller *möglichen* Untersuchung, die ich darüber angestellt, wahrscheinlich immer so ungewiſs bleiben, als Homers Geburtsort.

ihn zur Astronomie, welcher er sich mit der ganzen Thätigkeit einer für den Ruhm leidenschaftlich eingenommenen Seele hingab.

Aus ungeduldigem Bestreben, die Ursache der Erscheinungen kennen zu lernen, ahndet der Gelehrte, der eine lebhafte Einbildungskraft besizt, sie oft, ehe die Beobachtungen ihn darauf führen konnten. Ohne Zweifel ist es sicherer, von den Erscheinungen zu den Ursachen aufzusteigen, aber die Geschichte der Wissenschaften beweifst uns, dafs dieser langsame Gang nicht immer der der Erfinder gewesen ist. Welche Klippen hat der zu fürchten, der seine Einbildungskraft zur Führerin nimmt! Voraus für das, was sie ihm vorhält, eingenommen, und weit entfernt es zu verwerfen, wenn die Erscheinungen ihm entgegen sind, ändert er die lezteren, um sie seinen Hypothesen anzupassen; er verstümmelt, wenn ich so sagen darf, das Werk der Natur, um es dem seiner Einbildungskraft ähnlich zu machen, ohne zu bedenken, dafs die Zeit mit der einen Hand diese eiteln Phantome zerstört, und mit der andern die Resultate der Rechnung und Erfahrung bestättiget. Ein für die Aufnahme der Wissenschaften wahrhaft nüzlicher Philosophe ist der, welcher mit einer umfas-

senden Einbildungskraft eine grofse Strenge in seinen Schlüssen, und bey seinen Beobachtungen vereinigt, und zugleich auf der einen Seite von dem Verlangen, sich zu der Ursache der Erscheinungen zu erheben, und auf der andern von der Furcht, sich in Ansehung derjenigen, welche er ihnen beylegt, zu täuschen, beunruhiget wird.

Den ersten dieser Vorzüge verdankte Kepler der Natur, den andern dem Tycho Brahe. Dieser grofse Beobachter, den er in Prag besuchte, und welcher in Keplers ersten Werken seinen Geist, mitten unter den geheimnifsvollen Analogien der Figuren und Zahlen, womit sie angefüllt waren, erkannt hatte, munterte ihn auf, zu beobachten, und verschaffte ihm den Titel eines kaiserlichen Mathematicus. Der wenige Jahre hernach erfolgte Tod des Tycho sezte Keplern in den Besiz der schäzbaren Sammlung seiner Beobachtungen, und er machte davon den nüzlichsten Gebrauch, indem er drey der wichtigsten Entdeckungen, die man in der Naturphilosophie gemacht hat, darauf gründete.

Eine Opposition des Mars bestimmte Keplern, sich vorzugsweise mit den Bewegungen dieses Planeten zu beschäftigen. Seine Wahl

war glücklich, weil die Bahn des Mars eine der am meisten excentrischen in dem Planetensysteme ist, die Ungleichheiten seiner Bewegung merklicher sind, und die Geseze derselben sich leichter und sicherer müssen entdecken lassen. Obschon die Theorie von der Bewegung der Erde den gröfsten Theil der Kreise vernichtete, womit Ptolemäus die Astronomie überladen hatte, so hatte doch Copernicus ihrer noch mehrere beybehalten, um die wirklichen Ungleichheiten der Himmelskörper zu erklären. Kepler, betrogen, wie er, durch die Meinung, dafs ihre Bewegungen kreisförmig und gleichförmig seyn müfsten, versuchte lange Zeit, die des Mars unter dieser Voraussezung darzustellen. Endlich durchbrach er, nach einer grofsen Anzahl von Versuchen, die er in seinem berühmten Werke: *Commentarii de Stella Martis*, umständlich erzählt, das Hinderniſs, welches ihm ein durch den Beyfall aller Jahrhunderte im Ansehen erhaltener Irrthum entgegensezte; er erkannte, dafs die Bahn des Mars eine Ellipse sey, deren einen Brennpunkt die Sonne einnehme, und dafs der Planet sich so in derselben bewege, dafs der aus seinem Mittelpunkte an den der Sonne gehende Radius Vector den Zeiten proportionirte Flächen be-

schreibe. Diese Resultate dehnte Kepler auf alle Planeten aus, und machte im Jahre 1626 nach dieser Theorie die rudolphinischen Tafeln bekannt, die in der Astronomie auf immer merkwürdig seyn werden, weil sie die ersten waren, die sich auf die wahren Gesezè der Bewegungen der Planeten gründeten.

Ohne die Speculationen der Griechen über die Curven, welche der Schnitt eines Kegels durch eine Ebene beschreibt, würden diese schönen Geseze vielleicht noch unbekannt seyn. Da die Ellipse eine von diesen Curven ist, so veranlassete ihre längliche Gestalt bey Keplern den Gedanken, den Planeten Mars, dessen Bahn er für oval erkannt hatte, in einer solchen sich bewegen zu lassen; und vermittelst der zahlreichen Eigenschaften, welche die alten Geometer von den Kegelschnitten entdeckt hatten, versicherte er sich bald von der Wahrheit dieser Voraussezung. Die Geschichte der Wissenschaften zeigt uns viele Beyspiele solcher Anwendungen der reinen Geometrie und ihrer Vortheile; denn in der unermeſslichen Kette der Wahrheiten greift alles in einander, und oft war eine einzige Beobachtung zureichend, um die dem Scheine nach unnüzesten aus unserm Verstande in die

Natur einzuführen, deren Erscheinungen nichts anders, als die mathematischen Resultate einer kleinen Anzahl unveränderlicher Geseze sind.

Die Empfindung von dieser Wahrheit gab wahrscheinlich den geheimnifsvollen Analogien der *Pythagoräer* das Daseyn. Sie hatten auch Keplern verführt, und er verdankte ihnen eine seiner schönsten Entdeckungen. Ueberzeugt, dafs die mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne diesen Analogien gemäfs angeordnet seyn müfsten, verglich er sie lange Zeit theils mit den regulären Körpern der Geometrie, theils mit den Tönen der Musik. Endlich fiel er nach siebzehn Jahre lang fortgesezten Betrachtungen und Berechnungen auf den Gedanken, die Potenzen der Zahlen, welche sie ausdrücken, mit einander zu vergleichen; und fand, dafs die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sich zusammen verhalten, wie die Würfel der grofsen Axen ihrer Bahnen; ein sehr wichtiges Gesez, welches er in dem Systeme der Jupiterstrabanten zu erkennen den Vortheil hatte, und welches sich auf alle Trabantensysteme erstreckt.

Man mufs erstaunen, dafs Kepler die allgemeinen Geseze der elliptischen Bewegung

nicht auch auf die Kometen angewandt hat. Aber verführt durch eine feurige Einbildungskraft liefs er den Faden der Analogie fallen, der ihn zu dieser grofsen Entdeckung führen mufste. Ueberzeugt, dafs die Kometen nichts, als Meteore wären, die im Aether entstünden, verabsäumte er, wie er selbst gesteht, ihre Bewegungen zu studiren, und so blieb er mitten auf der Bahn stehen, die er eröffnet hatte, und überliefs seinen Nachfolgern einen Theil des Ruhms, den er noch einärndten konnte. Zu seiner Zeit fieng man kaum an, die Methode zu ahnden, die man bey der Untersuchung der Wahrheit befolgen mufs, zu welcher der grofse Geist nur durch einen gewissen Instinct gelangte, indem er oft mit seinen Entdeckungen viele Irrthümer vereinigte. Anstatt durch eine Reihe von Inductionen aus besondern Erscheinungen zu andern mehr umfassenden, und von diesen zu den allgemeinen Naturgesezen sich mit Mühe zu erheben, war es leichter und angenehmer, alle Erscheinungen unter Verhältnisse der Schicklichkeit und Harmonie zu ordnen, welche die Einbildungskraft nach Willkühr schuf und modelte. So erklärte Kepler die Anordnung des Sonnensystems aus den Gesezen der musikalischen Harmonie.

Man sieht, dafs er, selbst noch in seinen lezten Schriften, sich mit diesen träumerischen Speculationen so sehr gefällt, dafs er sie als *die Seele* und *das Leben* der Astronomie betrachtet. Er hat die Excentricität der Erdbahn, die Dichtigkeit der Sonne, ihre Parallaxe, und noch andere Resultate daraus hergeleitet, deren Ungenauigkeit ein Beweis von den Irrthümern ist, denen man sich aussezt, wenn man sich von der durch die Beobachtung vorgezeichneten Bahn verirret.

Nachdem Kepler die Epicykeln, welche Copernicus beybehalten hatte, zerstört, die Curve, welche die Planeten um die Sonne beschreiben, bestimmt, und die Geseze ihrer Bewegungen erkannt hatte, kam er dem Grundsaze, woraus diese Geseze herfliefsen, zu nahe, um ihn nicht zu ahnden. Die Untersuchung dieses Grundsazes beschäftigte oft seine lebhafte Einbildungskraft; aber der Zeitpunkt war noch nicht gekommen, diesen lezten Schritt zu machen, der eine tiefere Kenntnifs der Mechanik und eine vollkommenere Geometrie erforderte. Indessen führte die Verkettung der Wahrheiten Keplern, mitten unter seinen fruchtlosen Versuchen, und seinen zahlreichen Verirrungen, doch

auf richtige Blicke über diesen Gegenstand, in dem Werke, worin er seine wichtigsten Entdeckungen bekannt gemacht hat. „Die „Schwere, sagt er in seinen *Commentarien über „den Mars*, ist eine körperliche und gegen„seitige Eigenschaft unter ähnlichen Körpern. „Die schweren Körper haben kein Bestreben „nach dem Mittelpunkte der Welt, aber nach „dem des runden Körpers, von welchem sie „einen Theil ausmachen; und wenn die Erde „nicht kugelförmig wäre, so würden die „schweren Körper nicht gegen ihren Mittel„punkt, sondern nach verschiedenen Punkten „zu fallen. Wenn der Mond und die Erde „nicht in ihren respectiven Entfernungen „zurückgehalten würden, so würden sie auf „einander fallen, wobey der Mond $\frac{53}{54}$ des „Wegs, die Erde aber den Rest zu machen „hätte, wenn man ihre Dichtigkeit gleich „sezte." Er glaubt auch, dafs die Attraction des Monds die Ursache von der Ebbe und Fluth des Meeres sey, und er vermuthet, dafs die Unregelmäfsigkeiten der Mondsbewegung durch die vereinigten Wirkungen der Sonne und der Erde auf den Mond verursacht werden.

Die Astronomie verdankt Keplern noch mehrere wichtige Entdeckungen. Sein Werk

über

über die Optik ist voll von neuen und wichtigen Dingen; er erklärt darin den vor ihm unbekannten Mechanismus des Sehens, und giebt die wahre Ursache von dem *aschfarbigen Lichte* des Monds an; er verdankt aber diese leztere seinem Lehrer Mästlin, dem sowohl diese Entdeckung, als die Anführung Keplers zur Astronomie, und die Bekehrung Galilei's zum copernicanischen Systeme Ehre macht. Endlich hat Kepler in seinem Werke, das den Titel führt: *Stereometria doliorum*, Aussichten über das Unendliche eröfnet, die einen Einfluſs auf die Revolution hatten, welche die Geometrie am Ende des lezten Jahrhunderts erfuhr *).

Bey so vielen Ansprüchen auf Bewunderung lebte dieser groſse Mann im Elende, während die überall geehrte Sterndeuterey reichlich belohnt wurde. Glücklicherweise findet der Mann von Geist im Genusse der Wahrheit, die sich ihm enthüllt, und in der Aussicht auf die gerechte und dankbare Nach-

*) Wer Gelegenheit dazu hat, der versäume nicht, eine lehrreiche Abhandlung des Herrn Prof. Pfleiderer, unter dem Titel: Kepleri methodus solida quaedam sua dimetiendi illustrata, et cum methodis Geometrarum posteriorum comparata. Tubingae 1795. 4to. darüber nachzusehen.

welt Trost bey der Undankbarkeit seiner Zeitgenossen. Kepler hatte Besoldungen erhalten, die ihm immer schlecht ausbezahlt wurden. Als er sich daher an den Reichstag nach Regensburg begeben hatte, um die Rückstände davon einzutreiben, so starb *) er daselbst den 5ten November 1631. Er hatte in seinen lezten Jahren noch den Vortheil, die Entdeckung der Logarithmen entstehen zu sehen, und zu benuzen. Man verdankt dies bewundernswürdige Kunstwerk dem schottischen Baron Neper. Dadurch, dafs diese Erfindung die Arbeit mehrerer Monate auf einige Stunden abkürzt, verdoppelt sie, wenn man so sagen kann, das Leben der Astronomen, und erspart ihnen die von langen Rechnungen unzertrennlichen Irrthümer und Ermüdungen; auch ist sie für den menschlichen Geist um so viel be-

*) Keplers Schicksal veranlassete bey Herrn Hofrath Kästner ein Epigramm, das ich hier einzurücken mir nicht verbieten kann:

Kein Sterblicher ist je so hoch gestiegen,
Als Kepler stieg, und starb in Hungersnoth:
Er wufste nur die *Geister* zu vergnügen,
Drum liefsen ihn die *Körper* ohne Brod!

Wer sollte aber wohl glauben, dafs es noch am Ende des achtzehnten Jahrhunderts dergleichen Körper gäbe, die mit Keplers Zeitgenossen in dem Wahne stehen: *Mathematicos ex aura vivere, et sola ingenii gloria contentos esse posse?*

friedigender, weil er sie ganz aus seinem eigenen Boden gezogen hat. In den Künsten gebraucht der Mensch die Materialien und die Kräfte der Natur, um seine Macht zu verstärken; hier aber ist alles lediglich sein Werk.

Auf Keplers und Galilei's Arbeiten folgten bald die von Huygens. Sehr wenige Menschen haben sich durch die Wichtigkeit und Erhabenheit ihrer Untersuchungen um die Wissenschaften so sehr verdient gemacht. Die glückliche Anwendung, die er von dem Pendel bey den Uhren machte, ist eins der schönsten Geschenke, die man der Astronomie gemacht hat. Er erkannte, dafs die sonderbaren Erscheinungen des Saturns durch einen sehr dünnen Ring verursacht werden, der diesen Planeten umgiebt; sein anhaltender Fleifs in Beobachtung derselben führte ihn zur Entdeckung eines Saturnstrabanten. Die Geometrie, Mechanik und Optik verdanken ihm eine grofse Anzahl von Entdeckungen; und wenn dieser Mann von seltenem Geiste auf den Einfall gekommen wäre, seine Lehrsäze von der Centrifugalkraft mit seinen schönen Untersuchungen über die Evoluten, und mit den keplerischen Gesezen zu verbinden: so würde er seine Theorie von den krummlinigten Bewe-

gungen, und die von der allgemeinen Schwere, bis dahin erhoben haben, wohin sie in der Folge Newton erhob. Aber eben in dergleichen Annäherungen bestehen die Entdeckungen.

Um eben diese Zeit machte sich Hevel der Astronomie durch unermeſsliche Arbeiten nüzlich. Es hat wenige so unermüdete Beobachter gegeben; und es ist nur zu bedauren, daſs er die Anwendung der Fernröhre bey den Quadranten nicht anwenden wollte, welche Erfindung der Beobachtungen eine bis dahin unbekannte Genauigkeit gegeben hat.

Mit diesem Zeitpunkte bekam die Astronomie einen neuen Schwung durch die Stiftung der gelehrten Gesellschaften. Die Natur ist in ihren Erzeugnissen und in ihren Erscheinungen so mannichfaltig, und es ist so schwer, in ihre Ursachen einzudringen, daſs, um sie kennen zu lernen, und sie zu nöthigen, uns ihre Geseze zu enthüllen, es nothwendig ist, daſs eine groſse Menge Menschen ihre Einsichten und ihre Kräfte vereinigen. Besonders ist eine solche Vereinigung alsdann nothwendig, wenn die Wissenschaften bey ihrer Erweiterung einander berühren, und wechselseitige Hülfleistungen von einander fordern. Alsdann zieht der Naturforscher den Geometer zu

Rathe, um sich von den Erscheinungen, die er beobachtet, zu den allgemeinen Ursachen zu erheben; und der Geometer fragt auf seinem Wege den Naturforscher, um seine Untersuchungen durch ihre Anwendung auf die Erfahrung nuzbar zu machen, und um sich durch diese Anwendungen selbst neue Bahnen in der Analyse zu brechen. Aber der wichtigste Vortheil der gelehrten Gesellschaften ist der philosophische Geist, der nothwendig in denselben einheimisch werden, und sich von ihnen aus über eine ganze Nation, und über alle Gegenstände verbreiten mufs. Der einzelne Gelehrte kann sich unbesorgt dem Geiste des Systems überlassen, er hört nur von ferne her Widerspruch; aber in einer gelehrten Gesellschaft endigt sich das Zusammenstofsen der systematischen Meinungen bald mit ihrer Vernichtung; und das Verlangen, sich gegenseitig zu überzeugen, veranlasset unter den Mitgliedern die Uebereinkunft, nichts anzunehmen, als Resultate der Beobachtung und Rechnung. Auch hat die Erfahrung bewiesen, dafs seit dem Ursprunge dieser Anstalten die wahre Philosophie sich allgemein verbreitet hat. Dadurch, dafs sie das Beyspiel gaben, wie man alles der Prüfung einer strengen Vernunft un-

terwerfen müsse, haben sie die Vorurtheile verdrängt, welche nur zu lange in den Wissenschaften geherrscht und die besten Köpfe der vorigen Jahrhunderte getheilt hatten. Sie haben der gelehrten Aufschneiderey beständig eine Masse von Kenntnissen entgegen gesezt, woran Irrthümer abprellen mufsten, die mit einem Enthusiasmus aufgenommen waren, der sie unter andern Umständen würde erhalten haben. Endlich sind in ihrem Schoofse die grofsen Theorien entstanden, die ihre Allgemeinheit der Fassungskraft des gemeinen Haufens entrückt; und die, da sie sich durch zahlreiche Anwendungen über die Natur und die nüzlichen Künste verbreiten, besondere Aufmunterungen verdienen.

Unter allen gelehrten Gesellschaften sind die *Akademie der Wissenschaften zu Paris*, und die *königliche Societät zu London* die zwey berühmtesten, wegen der grofsen Menge und Wichtigkeit ihrer Entdeckungen in den Wissenschaften, und besonders in der Astronomie. Die erste wurde im Jahre 1666. durch Ludwig XIV. gestiftet, der den Glanz voraussah, den die Wissenschaften und Künste über sein Reich verbreiten müfsten. Dieser durch Colbert auf eine würdige Art unterstüzte Monarch

lud mehrere auswärtige Gelehrten ein, sich in seiner Hauptstadt niederzulassen. Huygens folgte dieser schmeichelhaften Einladung, und machte in der Mitte der Akademie, von welcher er eins der ersten Mitglieder war, sein bewundernswürdiges Werk *de Horologio oscillatorio* bekannt. Ohne Zweifel würde er auch seine Tage in seinem neuen Vaterlande beschlossen haben, wenn nicht das unglückliche Edict dazwischen gekommen wäre, das gegen das Ende des lezten Jahrhunderts Frankreich so vieler nüzlicher Bürger beraubte. Huygens verliefs also ein Land, aus welchem man die Religion seiner Väter verbannte, und begab sich nach dem *Haag*, wo er den 14. April 1629. gebohren war, und den 5. Junius 1695. starb.

Eben so wurde Dominicus Cassini durch die Freygebigkeit Ludwigs XIV. nach Paris gezogen, welcher die Astronomie durch vierzig Jahre lang fortgesezte nüzliche Arbeiten mit einer Menge von Entdeckungen bereicherte. Dahin gehören die Theorie der Jupiterstrabanten, deren Bewegungen er durch Beobachtungen ihrer Verfinsterungen bestimmte. Die Entdeckung von vier Saturnstrabanten, die Entdeckung der Umdrehung Jupiters

um seine Axe, und der seinem Aequator parallelen Streifen, der Umdrehung des Mars, und des Thierkreislichts; die ziemlich genaue Kenntnifs der Sonnenparallaxe, eine sehr genaue Refractionstafel, und besonders die vollständige Theorie von dem Schwanken des Monds, welche erst nach seinem Tode erschien.

Die grofse Zahl der Mitglieder der Akademie, welche Astronomen von seltenem Verdienste waren, und die Grenzen dieser kurzen historischen Uebersicht verstatten mir nicht, von ihren Arbeiten Rechenschaft zu geben. Es genügt mir daher, zu bemerken, dafs die Anwendung des Fernrohrs bey dem Quadranten, die Erfindung des Mikrometers und Heliometers, die allmählige Fortpflanzung des Lichts, die Gröfse der Erde und ihrer Abplattung und die Abnahme der Schwere an dem Aequator, lauter aus dem Schoofse der Akademie der Wissenschaften hervorgegangene Erfindungen sind.

Der königlichen Societät zu *London*, die um einige Jahre älter ist, als die Akademie der Wissenschaften, hat die Astronomie keine geringeren Verbindlichkeiten. Unter den Astronomen, welche sie hervorgebracht hat, nenne ich Flamsteed, als einen der gröfsten Beob-

achter, die gelebt haben; ferner Halley, der durch seine zur Aufnahme der Wissenschaften unternommenen Reisen, durch seine schöne Arbeit über die Kometen, die ihn auf die Entdeckung der Zurückkunft des Kometen vom Jahre 1759 führte, und durch den sinnreichen Gedanken, die Durchgänge der Venus durch die Sonne zur Bestimmung der Parallaxe der lezteren zu gebrauchen, berühmt ist; endlich Bradley, der sich durch zwey der schönsten Entdeckungen in der Astronomie, nämlich durch die der *Abirrung* des Lichts der Fixsterne und des *Wankens* der Erdaxe verewiget hat.

Nachdem die Anwendung des Pendels bey den Uhren, und der Fernröhre bey dem Quadranten den Beobachtern die kleinsten Veränderungen in der Lage der Himmelskörper merklich gemacht hatte; so suchten sie die jährliche Parallaxe der Fixsterne zu bestimmen: denn es war natürlich, zu denken, dafs eine so grofse Ausdehnung, wie die des Durchmessers der Erdbahn ist, in der Entfernung dieser Sterne noch merklich sey. Da sie nun dieselbigen zu allen Jahrszeiten sorgfältig beobachteten, wurden sie kleine Veränderungen gewahr, die den Wirkungen der Parallaxe bisweilen günstig, meistens aber entgegen waren.

Zur Bestimmung des Gesezes dieser Veränderungen war ein Werkzeug von einem grofsen Halbmesser und einer äufserst genauen Theilung nothwendig. Der Künstler, der es zu Stande brachte, verdient an dem Ruhme des Astronomen Antheil zu nehmen, der ihm seine Entdeckungen verdankt. Graham, ein berühmter englischer Uhrmacher, verfertigte einen grofsen Sector, womit Bradley im Jahre 1727. die Aberration der Fixsterne erkannte. Um sie zu erklären, hatte dieser grofse Astronome den glücklichen Gedanken, die Bewegung der Erde mit der des Lichts zu verbinden, welche Römer gegen das Ende des lezten Jahrhunderts, vermittelst der Verfinsterungen der Jupitersrabanten entdeckt hatte. Man mufs sich wundern, dafs keiner von den damals lebenden vorzüglichen Gelehrten, die die Bewegung des Lichts kannten, auf die sehr einfachen Wirkungen, auf die scheinbare Lage der Fixsterne, die daraus folgten, aufmerksam war. Aber der in Bildung der Systeme so geschäftige Geist des Menschen hat fast immer darauf gewartet, dafs Beobachtung und Erfahrung ihm wichtige Wahrheiten bekannt machten, welche eine einfache Schlufsreihe ihm hätte entdecken können. So kam es, dafs die

Erfindung der Teleskope um mehr als dreyhundert Jahre auf die der Linsengläser folgte, und auch selbst dann noch einem bloſsen Zufalle zu danken war.

Im Jahre 1745. entdeckte Bradley durch Beobachtung das *Wanken* der Erdaxe. Bey allen diesen scheinbaren Veränderungen der Fixsterne, die er mit einer auſserordentlichen Sorgfalt beobachtete, wurde er nichts gewahr, das eine merkliche Parallaxe anzeigte.

Die auf verschiedenen Seiten der Erdkugel angestellten Messungen der Grade der Erdmeridiane und des Pendels; — Operationen, wozu Frankreich das Beyspiel gegeben hat, dadurch daſs es den ganzen Bogen des Meridians, von welchem es durchschnitten wird, maſs, und Mitglieder seiner Akademie an den Nordpol und den Aequator schickte, um daselbst die Gröſse dieser Grade und die Stärke der Schwere zu bestimmen; — die zur Beobachtung der beyden Durchgänge der Venus durch die Sonne in den Jahren 1761. und 1769. unternommenen Reisen, und die genaue Kenntniſs der Dimensionen des Sonnensystems, als die Frucht dieser Reisen; die Erfindung der achromatischen Fernröhre und der Seeuhren; die durch Herschel n im Jahre 1781. gemachte

Entdeckung des Planeten *Uranus*; die seitdem von eben diesem Beobachter gemachten Entdeckungen seiner zwey Trabanten, und von zwey neuen Saturnstrabanten; endlich die Vervollkommnung aller astronomischen Theorien, und die Zurückführung aller himmlischen Erscheinungen ohne Ausnahme auf den Grundsaz der allgemeinen Schwere: dies sind, nebst Bradley's Entdeckungen, die wichtigsten Verbindlichkeiten, welche die Astronomie unserem Jahrhunderte hat, welches mit dem vorigen immer der glänzendste Zeitraum derselben seyn wird.

Fünftes Kapitel.

Von der Entdeckung der allgemeinen Schwere.

Nachdem ich beschrieben habe, durch welche Bemühungen der menschliche Geist sich nach und nach zur Kenntnifs der Geseze der himmlischen Bewegungen erhoben habe; so habe ich nun noch zu zeigen, wie er zur Entdeckung des allgemeinen Grundsazes, wovon diese Geseze abhangen, gelangt sey.

Des Cartes versuchte zuerst die Bewegungen der Himmelskörper auf die Mechanik

zurückzuführen; er dachte sich Wirbel von einer feinen Materie, in deren Mittelpunkte er diese Körper sezte; die Wirbel der Planeten führten die Trabanten fort, und der Wirbel der Sonne führte die Planeten, die Trabanten, und ihre verschiedenen Wirbel mit sich. Die nach allen Richtungen hingehenden Bewegungen der Kometen haben diese Wirbel vernichtet, wie sie die materiellen Himmel und das ganze Gerüste der von den alten Astronomen ausgedachten Kreise vernichtet hatten. Des Cartes war also in der Mechanik des Himmels um nichts glücklicher, als Ptolemäus in der Astronomie; aber ihre Arbeiten waren für die Wissenschaften nicht unnüz. Ptolemäus hat die kleine Zahl der von den Alten entdeckten astronomischen Wahrheiten durch vierzehn Jahrhunderte der Unwissenheit hindurch auf uns gebracht.

Des Cartes, der zu einer Zeit erschien, wo alle Köpfe sich in einer Gährung befanden, die er noch vermehrte, sezte an die Stelle der alten Irrthümer andere, mehr verführerische, die durch das Ansehen seiner geometrischen Entdeckungen unterstüzt wurden, und zerstörte so die Herrschaft des Aristoteles und Ptolemäus, die eine weisere Philosophie

schwerlich erschüttert hätte. Indem er aber von dem Grundsaze ausgieng, dafs man damit anfangen müfste an allem zu zweifeln, so erinnerte er uns selbst, seine Meinungen einer strengen Prüfung zu unterwerfen, und sein System konnte dem Stofse der neuen Wahrheiten, die ihm entgegen waren, nicht lange widerstehen.

Für Newton war es aufbehalten, uns den allgemeinen Grundsaz der himmlischen Bewegungen bekannt zu machen. Die Natur sorgte neben dem, dafs sie ihn mit einem grossen Geiste begabte, auch dafür, ihn in die vortheilhafteste Zeit zu sezen. Die Geometrie des Unendlichen fing an von allen Seiten durchzubrechen. Wallis, Wrenn und Huygens hatten die Geseze der Bewegung entdeckt; die Entdeckungen des leztern über die Evoluten und über die Centrifugalkraft führten natürlicherweise auf die Theorie der Bewegung in krummen Linien. Kepler hatte diejenigen bestimmt, welche die Planeten beschreiben, und die allgemeine Gravitation angedeutet; endlich hatte Hook deutlich gesehen, dafs ihre Bewegungen das Resultat einer Wurfskraft, verbunden mit der Anziehungskraft der Sonne, sind. Der Mechanik

des Himmels fehlte es also, um zu ihrer Reife zu kommen, nur noch an einem Manne von Geist, der diese Entdeckungen zu verallgemeinern, und das Gesez der Schwere daraus herzuleiten wuſste; und dies ist es, was Newton in seinem unsterblichen Werke: *Principia Philosophiae naturalis mathematica* bewerkstelliget hat.

Dieser in so vielen Hinsichten berühmte Mann wurde zu *Woolstrop* in England gegen das Ende des Jahrs 1642, in welchem Galilei starb, gebohren. Seine ersten Versuche in der Mathematik kündigten schon an, was er einst werden würde. Ein flüchtiges Durchlesen elementarischer Werke war bey ihm hinreichend, sie zu verstehen; er durchlief hierauf die Geometrie von Des Cartes, Keplers Optik und die Arithmetik des Unendlichen von Wallis; und da er sich bald zu neuen Erfindungen erhob, so war er noch vor seinem 27. Jahre im Besize seiner *Fluxionsrechnung* und seiner Theorie des Lichts. Aus Liebe zur Ruhe und aus Furcht vor gelehrten Streitigkeiten, die er vielleicht bey einer frühern Bekanntmachung seiner Entdeckungen eher vermieden haben würde, eilte er nicht, sie ans Licht zu stellen. Doctor Barrow, dessen Schüler und Freund

er war, legte, zu seinem Vortheile, sein mathematisches Lehramt auf der Universität zu *Cambridge* nieder. Während er dieses verwaltete, gab er endlich den dringenden Aufforderungen der königlichen Societät zu *London* und den Bitten Halley's so weit nach, daſs er seine *Principien* bekannt machte. Die Universität, deren Mitglied er war, wählte ihn zu ihrem Repräsentanten in der Parlementsversammlung des Jahrs 1688, und in der Versammlung des Jahrs 1701. bekleidete er diese Stelle noch einmal. Er wurde zum Director der Münze ernannt, und von der Königin Anna in den Ritterstand erhoben. Im Jahr 1703. wurde er zum Präsidenten der königlichen Societät erwählt, und dies blieb er ununterbrochen bis an seinen im Jahr 1727. erfolgten Tod. Er genoſs endlich, während seines langen Lebens, die allerhöchste Achtung, und nach seinem Tode ehrte ihn seine Nation, deren Ehre er gewesen war, durch die ausgezeichnetste Begräbniſsfeyer.

Im Jahr 1666. richtete Newton, bey seinem Aufenthalte auf dem Lande, sein Nachdenken zum erstenmale auf das Weltsystem. Der Fall der Körper, der auf dem Gipfel der höchsten Berge beynahe eben so erfolgt, wie

an

an der Erdoberfläche, brachte ihn auf die Vermuthung, dafs die Schwere sich bis zum Monde erstrecke, und dadurch, dafs sie sich mit der Wurfsbewegung dieses Trabanten verbinde, ihn in einer elliptischen Bahn um die Erde herumführe. Um diese Vermuthung zur Gewifsheit zu bringen, mufste er das Gesez der Abnahme der Schwere kennen. Newton erwog, dafs, wenn die Schwere gegen die Erde den Mond in seiner Bahn erhält, die Planeten, durch ihre Schwere gegen die Sonne, auf gleiche Art in ihren Bahnen erhalten werden müssen. Nun folgt es aus dem Verhältnisse zwischen den Quadraten der Umlaufszeiten der Planeten und den Würfeln der grofsen Axen ihrer Bahnen, dafs ihre Centrifugalkraft, und folglich auch ihr Bestreben gegen die Sonne in dem Verhältnisse des Quadrats ihrer Entfernungen von diesem Gestirne abnimmt. Newton trug also dieses Gesez der Abnahme der Schwere auf die Erde über. Er gieng von den Erfahrungen über den Fall der Körper aus, und bestimmte die Höhe, von welcher der Mond, sich selbst überlassen, in einem kurzen Zeitraume gegen die Erde fallen würde. Diese Höhe ist der Quersinus des Bogens, den er in der nämlichen Zeit beschreibt;

die Mondsparallaxe giebt diesen Quersinus in Theilen des Erdhalbmessers. Um also das Gesez der dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportionirten Schwere mit der Beobachtung zu vergleichen, war es nothwendig, die Gröſse dieses Halbmessers zu kennen. Da aber Newton damals nur eine fehlerhafte Messung des Erdmeridians vor sich hatte, so gelangte er zu einem andern Resultáte, als er erwartete; und da er vermuthete, es möchten unbekannte Kräfte sich mit der Schwere des Monds verbinden, so gab er seine ersten Gedanken auf. Einige Jahre nachher veranlaſste ihn ein Brief von Doctor Hook, die Natur der von geworfenen Körpern um den Mittelpunkt der Erde beschriebenen Curve zu untersuchen. Picard hatte eben seine Gradmessung in Frankreich geendiget; und vermittelst dieser Messung erkannte Newton, daſs der Mond blos durch die Kraft der Schwere, vorausgesezt, daſs sie dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportionirt sey, in seiner Bahn erhalten würde. Nach diesem Geseze fand er, daſs die durch die Körper bey ihrem Falle beschriebene Linie eine Ellipse ist, deren einen Brennpunkt der Mittelpunkt der Erde einnimmt. Da er nun weiter betrach-

tete, dafs die Planetenbahnen gleichfalls Ellipsen sind, in deren Brennpunkten der Mittelpunkt der Sonne liegt, so hatte er die Genugthuung zu sehen, dafs seine Auflösung, die er blofs aus Neugierde unternommen hatte, auf die gröfsten Gegenstände der Natur anwendbar wäre. Er brachte mehrere, die elliptische Bewegung der Planeten betreffende Säze in Ordnung; und da Doctor Halley ihn aufgemuntert hatte, sie bekannt zu machen, so arbeitete er sein grofses Werk, die *Principien*, aus, welches im Jahr 1687. erschien. Diese Umstände, wovon uns Pemberton, ein Zeitgenosse und Freund Newtons, Nachricht gegeben hat, beweisen, dafs dieser grofse Geometer die wichtigsten Lehrsäze von der Centrifugalkraft schon im Jahr 1666. erfunden hatte, welche Hùygens erst sechs Jahre nachher, am Ende seines Werks *de Horologio oscillatorio* bekannt machte. Es ist in der That sehr glaublich, dafs der Erfinder der Fluxionsmethode, der von dieser Zeit an im Besize dieser Methode gewesen zu seyn scheint, diese Lehrsäze leicht habe erfinden können.

Newton war auf das Gesez der Abnahme der Schwere vermittelst des Verhältnisses zwischen den Quadraten der Umlaufszeiten

der Planeten und den Würfeln der grofsen Axen ihrer als kreisförmig angenommenen Bahnen gekommen; er bewies, dafs dieses Verhältnifs bey den elliptischen Bahnen allgemein Statt habe, und dafs es eine gleiche Schwere der Planeten gegen die Sonne anzeige, wenn man sie in gleiche Entfernungen von ihrem Mittelpunkte sezt. Die nämliche Gleichheit der Schwere gegen den Hauptplaneten hat bey allen Trabantensystemen Statt, und bey den Erdkörpern hat sie Newton durch sehr genaue Versuche bewiesen.

In der Folge zeigte dieser grofse Geometer, indem er diese Untersuchungen verallgemeinerte, dafs ein geworfener Körper, vermöge einer gegen seinen Brennpunkt gerichteten und dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportionirten Kraft, sich in jedem Kegelschnitte bewegen könne; er entwickelte die verschiedenen Eigenschaften der Bewegung in Curven dieser Art; er bestimmte die Bedingungen, welche erfordert werden, um den Schnitt zu einem Kreise, zu einer Ellipse, Parabel oder Hyperbel zu machen, welche blos von der ursprünglichen Lage und Geschwindigkeit der Körper abhangen. Wie diese Geschwindigkeit, diese Lage, und die anfängliche

Richtung der Bewegung immer beschaffen seyn mögen, so hat Newton einen Kegelschnitt angegeben, den der Körper beschreiben kann, und in welchem er folglich sich bewegen muſs; dies dient zur Antwort auf einen Vorwurf, den ihm Johann Bernoulli gemacht hat, daſs er nicht bewiesen habe, daſs die Kegelschnitte die einzigen Curven seyen, die ein Körper beschreiben könne, der von einer dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportionirten Kraft getrieben werde. Diese Untersuchungen auf die Bewegung der Kometen angewandt, zeigten ihm, daſs diese Gestirne, nach den nämlichen Gesezen, wie die Planeten, sich um die Sonne bewegen, mit dem einzigen Unterschiede, daſs ihre Ellipsen sehr länglicht sind; und er gab auch die Mittel an, die Elemente dieser Ellipsen durch Beobachtungen zu bestimmen.

Da Newton erwog, daſs die Trabanten um ihre Planeten sich sehr nahe so bewegen, als wenn diese Planeten unbeweglich wären, so erkannte er, daſs auch sie der nämlichen Schwere gegen dieses Gestirn folgen. Die Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung lieſs ihn nicht daran zweifeln, daſs die Sonne gegen die Planeten falle, und diese gegen ihre

Trabanten, ja, dafs auch die Erde von allen Körpern, die gegen sie fallen, angezogen wird. Diese Eigenschaft dehnte er so fort durch die Analogie auf alle Theile der Himmelskörper aus, und stellte als einen Grundsaz auf, dafs *jedes materielle Element alle Körper im geraden Verhältnisse seiner Masse, und im umgekehrten des Quadrats seiner Entfernung von denselben anziehe.*

Nachdem Newton auf diesen Grundsaz gekommen war, so sahe er die grofsen Erscheinungen des Weltsystems aus demselben herfliefsen. Indem er die Schwere auf der Oberfläche der Himmelskörper als das Resultat der Attractionen aller ihrer Elemente betrachtete, so gelangte er zu den merkwürdigen Wahrheiten, dafs die Anziehungskraft eines Körpers oder einer sphärischen Schichte gegen einen aufser ihr befindlichen Punkt die nämliche ist, wie wenn ihre Masse in ihrem Mittelpunkte vereiniget wäre; und dafs ein in einer sphärischen Schichte, oder überhaupt in einer zwischen zwey ähnlichen und ähnlichliegenden elliptischen Flächen eingeschlossenen Schichte befindlicher Punkt von allen Seiten gleich stark angezogen wird. Er bewies, dafs die Umdrehungsbewegung der Erde sie bey den Polen

habe applatten müssen, und er bestimmte die Geseze der Veränderung der Grade und der Schwere, unter der Voraussezung, dafs sie eine gleichartige Masse sey. Er sahe, dafs die Wirkung der Sonne und des Monds auf das Erdsphäroid eine Bewegung seiner Umdrehungsaxe hervorbringen, das Zurückgehen der Nachtgleichen verursachen, die Gewässer des Weltmeers erheben, und in dieser grofsen flüssigen Masse die Schwingungen unterhalten müsse, die man unter dem Namen der *Ebbe* und *Fluth* daran beobachtet. Endlich versicherte er sich, dafs die Ungleichheiten der Mondsbewegung von den vereinigten Wirkungen der Sonne und des Monds auf diesen Trabanten herrühren. Aber, das ausgenommen, was die elliptische Bewegung der Planeten und Kometen, und die Attraction der sphärischen Körper betrift, sind alle diese Entdeckungen von Newton blos aus dem Groben gearbeitet worden. Seine Theorie von der Gestalt der Planeten ist durch die Voraussezung ihrer Gleichartigkeit eingeschränkt. Seine Auflösung der Aufgabe von dem Vorrücken der Nachtgleichen ist zwar sehr sinnreich, aber troz der scheinbaren Uebereinstimmung seines Resultats mit den Beobachtungen, doch in mehre-

ren Hinsichten mangelhaft. Unter der grofsen Anzahl der Störungen der himmlischen Bewegungen hat er blos die der Mondsbewegung betrachtet, wovon die beträchtlichste, die *Evection*, seinen Untersuchungen entgangen ist. Das Daseyn des von ihm entdeckten Grundsazes hat er vollkommen erwiesen, aber die Entwickelung seiner Folgen und seiner Vortheile war das Werk der Nachfolger dieses grofsen Geometers. Die Unvollkommenheit, welche die Rechnung des Unendlichen in den Händen ihres Erfinders haben mufste, verstattete ihm nicht, die schweren Aufgaben, welche die Theorie des Weltsystems vorlegt, vollständig aufzulösen, und er war oft genöthiget, bloſse Wahrnehmungen zu geben, die immer ungewifs sind, bis sie durch eine genaue Berechnung bestätiget werden. Dieser unvermeidlichen Mängel ungeachtet sichert die Wichtigkeit und Allgemeinheit der Entdeckungen, eine grofse Menge origineller und tiefer Blicke, welche die Keime von den glänzendsten Theorien der Geometer dieses Jahrhunderts gewesen sind, und die schöne Darstellung dieser Dinge, den mathematischen Principien der Naturphilosophie den Vorrang vor den übrigen Werken des menschlichen Geistes.

Dieses Werk und die eben so originelle Abhandlung des nämlichen Verfassers von der Optik haben aufserdem das Verdienst, die besten Muster zu seyn, die man sich in den Wissenschaften vorsezen kann. Man sieht in denselben die glücklichsten Anwendungen der Methode, welche darin besteht, sich durch eine Reihe von Inductionen von den vornehmsten Erscheinungen zu den Ursachen zu erheben, und so fort von den Ursachen zu den besondern Umständen der Erscheinungen zurückzugehen.

Dies ist die sicherste Methode, die uns bey der Untersuchung der Wahrheit leiten kann. Kein Philosophe ist dieser Methode mehr getreu geblieben, als Newton. Sie hat ihn sowohl zu seinen Entdeckungen in der Analysis, als zu dem Grundsaze der allgemeinen Schwere und zu den Eigenschaften des Lichts geführt. Die englischen Gelehrten, die Newtons Zeitgenossen waren, haben sie nach seinem Beyspiele angenommen, und sie ist die Grundlage von einer grofsen Anzahl vortreflicher Werke geworden, welche damals erschienen. Die Philosophen des Alterthums gingen den entgegengesezten Weg; sie stellten sich an die Quelle von allen, und erdach-

ten allgemeine Gründe, um alles zu erklären. Ihre Methode, welche nichts, als leere Systeme zur Welt gebracht hatte, fand unter Des Cartes Händen keinen Fortgang mehr. Zu Newtons Zeiten wandten sie Leibniz, Malebranche und andere Philosophen mit gleich schlechtem Erfolge an. Endlich haben die Unbrauchbarkeit der Hypothesen, die sie veranlasset hat, und die Fortschritte, welche die Wissenschaften der Methode der Inductionen verdanken, die guten Köpfe zu dieser lezteren Methode hingezogen, welche der Kanzler Baco mit aller Stärke der Vernunft und der Beredtsamkeit eingeführt, und Newton durch seine Entdeckungen noch mehr empfohlen hatte.

Dieser grofse Geometer hat seine Theorie des Weltsystems vermittelst der *Synthesis* dargestellt. Es scheint indessen, dafs er die meisten seiner Lehrsäze durch die *Analysis*, deren Grenzen er ansehnlich erweitert hat, gefunden habe, aber seine Vorliebe zur Synthesis und seine grofse Achtung für die Geometrie der Alten bestimmten ihn, diese Lehrsäze, und selbst seine Fluxionsmethode, in die synthetische Form einzukleiden. Man mufs es bedauren, dafs er bey ihrer Darstellung nicht

den Weg, auf welchem er dazu gelangt war, eingeschlagen, und die Beweise mehrerer Resultate, wie z. B. die Gleichung des Körpers von dem kleinsten Widerstande, unterdrückt hat, indem er das Vergnügen, seine Meinung errathen zu lassen, dem, seine Leser zu belehren, vorzog. Die Kenntnifs der Methode, die einen Mann von Geist geleitet hat, ist der Aufnahme der Wissenschaften und selbst seinem eigenen Ruhme nicht minder zuträglich, als seine Entdeckungen; und der wichtigste Nuzen, den der berühmte, zwischen Leibniz und Newton über der Rechnung des Unendlichen entstandene Streit gehabt hat, bestand darin, dafs man dadurch den Gang dieser zwey grofsen Männer bey ihren ersten analytischen Arbeiten kennen lernte.

Newtons bemerkte Vorliebe zur Synthesis läfst sich mit der Schönheit und Leichtigkeit entschuldigen, womit er seine Untersuchungen über die Bewegung der Körper in den Kegelschnitten an die Untersuchungen der alten Geometer über die Natur dieser Curven anknüpfen konnte. Die geometrische Synthesis hat ausserdem den Vorzug, dafs sie ihren Gegenstand nie aus dem Gesichte verlieren läfst, und den ganzen Weg, von den ersten Grundsäzen an,

bis zu deren lezten Folgerungen erleuchtet; an Statt dafs die Analysis uns den Hauptgegenstand bald vergessen läßt, um uns mit abstracten Combinationen zu beschäftigen, und uns erst am Ende wieder zu demselben führt. Aber indem man sich auf solche Art von den Gegenständen abschneidet, nachdem man so viel von ihnen herausgenommen, als unentbehrlich ist, um zu dem gesuchten Resultate zu gelangen, indem man sich sofort den Operationen der Analysis hingiebt, und alle seine Kräfte aufbehält, um die Schwierigkeiten, die sich dabey zeigen, zu überwinden; so wird man durch die Stärke und Allgemeinkeit dieser Methode auf Resultate geführt, die der Synthesis oft unzugänglich wären. Die Theorie des Weltsystems stellt eine grofse Zahl von Beyspielen dieser Vorzüge der Analysis auf, welcher diese Theorie eine Vollkommenheit verdankt, die sie nie erreicht haben würde, wenn man darauf bestanden hätte, die von Newton vorgezeichnete Bahn zu verfolgen. Die Fruchtbarkeit der Analysis ist so grofs, dafs man nur die besonderen Wahrheiten in diese allgemeine Sprache zu übersezen braucht, um aus ihren blofsen Ausdrücken eine Menge von neuen und unerwarteten Wahrheiten her-

vorgehen zu sehen. Keine andere Sprache ist für diese Art von Zierlichkeit (élégance) in gleichem Maafse empfänglich, welche in der Entwickelung einer langen Reihe von Ausdrücken besteht, die unter einander zusammenhangen, und sämmtlich aus einem einzigen Grundausdrucke herfliefsen. Mit diesen Vorzügen vereinigt die Analysis noch den, dafs sie immer zu den einfachsten Methoden führen kann. Man braucht sie zu dem Ende nur auf eine geschickte Art anzuwenden, durch eine vortheilhafte Wahl der unbekannten Grössen, und dadurch, dafs man den Resultaten die Form giebt, welche sich am leichtesten geometrisch construiren, oder in Zahlen ausdrücken läfst. Auch haben sich die Geometer dieses Jahrhunderts, von ihrer Ueberlegenheit überzeugt, vorzüglich angelegen seyn lassen, ihr Gebiet zu vergröfsern, und dessen Grenzen zu erweitern.

Indessen müssen die geometrischen Betrachtungen nicht vernachläfsiget werden. Sie sind von dem gröfsten Nuzen in den Künsten. Aufserdem ist es ein würdiger Gegenstand der Neugierde, sich die verschiedenen Resultate der Analysis im Raume darzustellen, und umgekehrt, alle Eigenschaften der Linien und

Flächen und alle Veränderungen der Bewegung der Körper, in den Gleichungen, welche sie ausdrücken, zu lesen. Diese Annäherung der Geometrie und der Analysis verbreitet ein neues Licht über diese beyden Wissenschaften; die intellectuellen Operationen der lezteren, durch die Bilder der ersten versinnlicht, lassen sich leichter auffassen, und mit mehr Interesse verfolgen; und wenn die Beobachtung diese Bilder in der Wirklichkeit darstellt, und die geometrischen Resultate in Naturgeseze verwandelt; wenn diese Geseze das Weltall umfassen, und dessen vergangene und künftige Zustände unsern Augen enthüllen, so läfst uns der Anblick dieses erhabenen Schauspiels das edelste Vergnügen empfinden, das für die menschliche Natur aufbehalten ist.

Ohngefähr fünfzig Jahre verflossen von der Entdeckung der allgemeinen Schwere an, ohne dafs man etwas merkwürdiges zu derselben hinzusezte. Diese ganze Zeit war dieser grofsen Wahrheit nöthig, um allgemein gefafst zu werden, und die Hindernisse zu übersteigen, die ihr das System der Wirbel und vielleicht auch die Eigenliebe der Geometer, die Newtons Zeitgenossen waren, entgegensezte. Nachdem aber ihre Nachfolger

den glücklichen Gedanken gehabt hatten, die Analysis auf die himmlischen Bewegungen anzuwenden, und sie auf Differentialgleichungen zu bringen, die sich genau oder durch convergirende Näherungen integriren liefsen, so gelang es ihnen, alle bekannten Erscheinungen des Weltsystems aus dem Geseze der Schwere zu erklären, und auf solche Art den astronomischen Theorien und Tafeln eine unerwartete Genauigkeit zu geben. Zu diesem Behufe war es nothwendig, zu gleicher Zeit die Mechanik, Optik und Analysis des Unendlichen zu vervollkommnen, welche ihre Fortschritte hauptsächlich den Bedürfnissen der Physik des Himmels verdanken. Man wird ihr noch mehr Genauigkeit und Einfachheit geben können; aber die Nachwelt wird es ohne Zweifel mit Danke erkennen, dafs die Geometer dieses Jahrhunderts ihr keine einzige astronomische Erscheinung überliefert haben, von welcher sie nicht die Ursache und die Geseze bestimmt hätten. Man mufs *Frankreich* die Gerechtigkeit widerfahren lassen, zu bemerken, dafs, wenn *England* den Vorzug gehabt hat, der Entdeckung der allgemeinen Schwere das Daseyn zu geben, man die zahlreichen Entwickelungen dieser Entdeckung

und die Revolution, welche sie in der Astronomie hervorgebracht hat, hauptsächlich den *französischen* Geometern und den durch die Akademie der Wissenschaften gegebenen Aufmunterungen zu danken habe.

Sechstes Kapitel.

Betrachtungen über das Weltsystem und über die künftigen Fortschritte der Astronomie.

Wir wollen jezt unsere Blicke auf die Anordnung des Sonnensystems und auf seine Verhältnisse gegen die Fixsterne richten. Die unermeſsliche Sonnenkugel, der Brennpunkt seiner Bewegungen, dreht sich in $25\frac{1}{2}$ Tagen um sich selbst; ihre Oberfläche ist mit einem Meere von der Lichtmaterie bedeckt, dessen lebhafte Aufwallungen veränderliche Flecken bilden, die oft sehr zahlreich, und zuweilen gröſser, als die Erde, sind. Ueber diesem Meere erhebt sich eine ungeheure Atmosphäre; jenseits dieser bewegen sich die Planeten mit ihren Trabanten in beynahe kreisförmigen Bahnen, und in Ebenen, die gegen den Sonnenäquator etwas geneigt sind. Unzählbare Kometen entfernen sich, nachdem sie der

Sonne

Sonne nahe gekommen sind, von ihr auf Weiten, welche beweisen, dafs ihr Gebiet sich weiter, als die bekannten Grenzen des Planetensystems erstrecke. Dieses Gestirn wirkt nicht blos durch seine Attraction auf alle diese Kugeln, und sezt sie dadurch in Bewegung um sich her, sondern es verbreitet auch sein Licht und seine Wärme über sie. Ihre wohlthätige Wirkung bringt Thiere und Pflanzen hervor, welche die Oberfläche der Erde bedecken, und die Analogie macht es uns glaublich, dafs sie auf den Planeten ähnliche Wirkungen äufsere. Denn es ist nicht natürlich zu denken, dafs die Materie, deren Fruchtbarkeit wir unter so vielen Gestalten sich entwickeln sehen, auf einem so grofsen Planeten, wie Jupiter ist, unfruchtbar sey, der wie die Erdkugel, seine Tage, Nächte und Jahre hat, und auf welchem die Beobachtungen Veränderungen anzeigen, welche sehr wirksame Kräfte voraussezen. Der Mensch, der nach der Temperatur eingerichtet ist, worin er auf der Erde lebt, könnte, nach aller Wahrscheinlichkeit, auf den andern Planeten nicht leben. Aber mufs es nicht eine unendliche Manchfaltigkeit von Organisationen nach dem Verhältnisse der verschiedenen Tempera-

turen der Weltkörper geben? Wenn schon der bloſse Unterschied der Elemente und der Klimate so viel Manchfaltigkeit in die Erzeugnisse der Erde bringt, um wie viel mehr verschieden müssen die der verschiedenen Planeten und ihrer Trabanten seyn? Auch die lebhafteste Einbildungskraft kann sich davon keine Vorstellung machen, aber ihr Daseyn ist sehr wahrscheinlich.

Obschon die Elemente des Planetensystems willkührlich sind, so haben sie doch sehr merkwürdige Verhältnisse zu einander, die uns über ihren Ursprung aufklären können. Wenn man es mit Aufmerksamkeit betrachtet, so erstaunt man, alle Planeten von Abend gegen Morgen, und beynahe in einerley Ebene um die Sonne, alle Trabanten nach einerley Richtung und beynahe in einerley Ebene mit ihren Planeten, um diese Planeten sich bewegen, endlich die Sonne, die Planeten und Trabanten, deren Umdrehungsbewegungen man beobachtet hat, in der Richtung und beynahe in der Ebene ihrer Wurfsbewegungen um sich selbst sich drehen zu sehen.

Eine so aufserordentliche Erscheinung ist kein Werk des Zufalls, sondern zeigt eine allgemeine Ursache an, die alle diese Bewegungen bestimmt hat. Um eine Näherung von der Wahrscheinlichkeit zu erhalten, wo-

mit diese Ursache angezeigt ist, wollen wir bemerken, dafs das Planetensystem, wie wir es heutzutage kennen, aus sieben Planeten und vierzehn Trabanten besteht; die Umdrehungsbewegung hat man an der Sonne, an fünf Planeten, an dem Monde, an dem Ringe des Saturns und an seinem lezten Trabanten beobachtet; diese Bewegungen, mit den Umlaufsbewegungen zusammengenommen, machen eine Summe von dreyfsig Bewegungen, die nach einerley Richtung vor sich gehen. Wenn man sich vorstellt, die Ebene einer rechtläufigen Bewegung liege anfänglich in der der Ekliptik, neige sich aber in der Folge gegen diese leztere, und durchlaufe alle Grade der Neigung von Null an bis zur halben Peripherie: so ist klar, dafs die Bewegung bey allen Neigungen, die unter hundert Graden sind, rechtläufig, bey denen aber, die darüber sind, rückläufig seyn werde; so dafs man blos durch die Veränderungen der Neigung die rechtläufigen und rückläufigen Bewegungen darstellen kann. Aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, zeigt uns also das Sonnensystem neun und zwanzig Bewegungen, deren Ebenen gegen die der Erde aufs höchste um den vierten Theil der Peripherie geneigt sind.

Sezt man nun, ihre Neigungen seyen das Werk des Zufalls gewesen, so hätten sie sich bis auf die halbe Peripherie erstrecken können, und die Wahrscheinlichkeit, dafs eine von ihnen den vierten Theil derselben zum wenigsten übertroffen hätte, wäre $1 - \frac{1}{29}$ oder $\frac{536870911}{536870912}$; es ist daher äufserst wahrscheinlich, dafs die Richtung der Bewegungen der Planeten kein Werk des Zufalls ist; und dies wird noch wahrscheinlicher, wenn man bedenkt, dafs die Neigung der meisten dieser Bewegungen gegen die Ekliptik sehr klein, und weit unter dem vierten Theil der Peripherie ist.

Eine andere eben so merkwürdige Erscheinung des Sonnensystems ist die geringe Excentricität der Bahnen der Planeten und Trabanten, während die der Kometen sehr länglicht sind; die Bahnen dieses Systems zeigen also keine mittleren Abstufungen zwischen einer grofsen und einer kleinen Excentricität. Wir sind auch hier genöthiget, die Wirkung einer regelmäfsigen Ursache anzuerkennen: der blose Zufall würde nicht den Bahnen aller Planeten eine beynahe kreisförmige Gestalt gegeben haben; die Ursache also, welche die Bewegungen dieser Körper bestimmt hat, mufs sie beynahe kreisförmig gemacht haben. Diese Ur-

sache muſs auch auf die groſse Excentricität der Kometenbahnen einen Einfluſs gehabt haben, und zwar, was ganz auſserordentlich ist, ohne einigen Einfluſs auf die Richtungen ihrer Bewegungen. Denn wenn man die Bahnen der rückläufigen Kometen, als gegen die Ekliptik um mehr als hundert Grade, geneigt betrachtet, so findet man, daſs die mittlere Neigung der Bahnen aller beobachteten Kometen der Gröſse von hundert Graden sehr nahe kommt; wie es seyn muſs, wenn diese Körper aufs Blinde hin in den Weltraum geschleudert worden sind.

Man hat also, um zu der Ursache der ursprünglichen Bewegungen des Planetensystems aufzusteigen, folgende fünf Erscheinungen: 1) Die Bewegungen der Planeten nach einerley Richtung und beynahe in einerley Ebene; 2) die Bewegungen der Trabanten nach einerley Richtung und beynahe in einerley Ebene mit denen der Planeten; 3) die Umdrehungsbewegungen dieser verschiedenen Körper und der Sonne, in einerley Richtung mit ihren Wurfsbewegungen, und in wenig unterschiedenen Ebenen; 4) die geringe Excentricität der Bahnen der Planeten und Trabanten; 5) endlich die groſse Excentricität der Kometen-

bahnen, wie sehr auch ihre Neigungen dem Zufalle überlassen gewesen seyn mögen.

Buffon ist, so viel ich weifs, der erste, der seit der Entdeckung des wahren Weltsystems versucht hat, bis zum Ursprunge der Planeten und Trabanten aufzusteigen. Er nimmt an, dafs ein Komet, der auf die Sonne fiel, einen Strom Materie von ihr abgerissen habe, der sich in der Entfernung in verschiedenen gröfseren oder kleineren, und von diesem Gestirne mehr oder weniger entfernten Kugeln vereinigte. Diese Kugeln sind die Planeten und Trabanten, die durch ihre Erkältung dunkel und vest geworden sind.

Diese Hypothese thut der ersten von den fünf vorerwähnten Erscheinungen Genüge; denn es ist klar, dafs alle auf solche Art entstandene Körper sich ohngefähr in der Ebene bewegen müssen, welche durch den Mittelpunkt der Sonne und durch die Richtung des Stroms der Materie ging, der sie hervorgebracht hat. Aber die vier übrigen Erscheinungen scheinen mir vermittelst derselben unerklärbar. In der That mufs alsdann die absolute Bewegung der Elemente eines Planeten nach der Richtung der Bewegung seines Schwerpunkts gehen; aber daraus folgt nicht, dafs

die Umdrehungsbewegung des Planeten nach der nämlichen Richtung gehe: die Erde könnte sich also von Morgen gegen Abend drehen, und die absolute Bewegung von jedem ihrer Elemente würde doch von Abend gegen Morgen gerichtet seyn. Was ich von der Umdrehungsbewegung der Planeten gesagt habe, läfst sich auch auf die Umlaufsbewegung der Trabanten anwenden, deren Richtung bey der Hypothese, von welcher die Rede ist, mit der der Wurfsbewegung der Planeten nicht nothwendig einerley ist.

Die geringe Excentricität der Planetenbahnen ist bey dieser Hypothese nicht nur sehr schwer zu erklären, sondern ihr ganz entgegen. Man weifs aus der Theorie der Centralkräfte, dafs, wenn ein Körper, der sich in einer in sich selbst zurücklaufenden Bahn um die Sonne bewegt, die Oberfläche dieses Gestirns streift, er beständig bey jedem seiner Umläufe wieder dahin zurückkommen werde. Daraus aber folgt, dafs die Planeten, wenn sie anfänglich von der Sonne wären abgerissen worden, sie bey jedem Umlaufe berühren, und ihre Bahnen an Statt kreisförmig zu seyn, sehr excentrisch seyn würden. Es ist wahr, dafs ein Strom von der Sonne abgerissener Ma-

terie nicht genau mit einer ihre Oberfläche streifenden Kugel verglichen werden kann. Der Stofs, den die Theile dieses Stroms von einander erhalten, und die wechselseitige Anziehung, die sie gegen einander ausüben, kann durch eine Veränderung der Richtung ihrer Bewegungen ihre Sonnennähen von der Sonne entfernen. Aber ihre Bahnen müfsten immer sehr excentrisch seyn, oder es würde wenigstens der aufserordentlichste Zufall erfordert, um ihnen so kleine Excentricitäten zu geben, wie die der Planetenbahnen sind. Endlich sieht man bey Buffon's Hypothese nicht, warum die Bahnen von ungefähr achtzig bisher beobachteten Kometen sämmtlich sehr länglicht sind. Es fehlt also sehr viel, dafs diese Hypothese den oben erwähnten Erscheinungen Genüge thäte. Wir wollen nun sehen, ob es möglich sey, sich zu ihrer wahren Ursache zu erheben.

Da diese Ursache die Bewegungen der Planeten und Trabanten verursacht, oder ihnen ihre Richtung gegeben hat, so mufs sie, von welcher Beschaffenheit sie immer seyn mag, alle diese Körper umfasset haben, und wegen der ungeheuren Entfernung dieser Körper von einander kann sie nichts anders, als

eine Flüssigkeit von einer unermeſslichen Ausdehnung gewesen seyn. Um ihnen eine beynahe kreisförmige Bewegung um die Sonne nach einerley Richtung geben zu können, muſste diese Flüssigkeit die Gestirne wie eine Atmosphäre umgeben. Die Betrachtung der Bewegungen der Planeten führt uns also auf den Gedanken, daſs, vermöge einer ausnehmend groſsen Wärme die Atmosphäre der Sonne sich anfänglich über alle Planetenbahnen hinaus erstreckt, und sich erst nach und nach bis auf ihre jezigen Grenzen zurückgezogen habe; was durch ähnliche Ursachen kann bewirkt worden seyn, wie diejenige war, welche das lebhaft glänzende Schimmern des berüchtigten Sterns, den man im Jahre 1572. im Sternbilde der Kassiopeia plözlich sah, hervorgebracht und mehrere Monate lang unterhalten hat.

Die groſse Excentricität der Kometenbahnen führt zu dem nämlichen Resultate. Sie zeigt einleuchtend das Verschwinden einer groſsen Zahl minder excentrischer Bahnen, welches um die Sonne eine Atmosphäre voraussezt, die sich über die Sonnennähe der Kometen, von welchen Beobachtungen möglich sind, hinauserstreckt, und diejenigen, welche

sie während ihrer grofsen Ausdehnung durchschnitten, durch Vernichtung ihrer Bewegungen mit der Sonne vereiniget hat. Alsdann sieht man, dafs es gegenwärtig nur solche Kometen geben müsse, die während dieser Zeit jenseits der Atmosphäre waren; und da wir nur solche beobachten können, die in ihrer Sonnennähe der Sonne nahe genug kommen, so müssen ihre Bahnen sehr excentrisch seyn. Zugleich sieht man, dafs ihre Neigungen die nämlichen Unregelmäfsigkeiten zeigen müssen, als wenn diese Körper aufs Blinde hin wären geschleudert worden, weil die Atmosphäre der Sonne auf ihre Bewegungen keinen Einfluss gehabt hat. Die lange Dauer der Umläufe der Kometen, die grofse Excentricität ihrer Bahnen, und die Manchfaltigkeit ihrer Neigungen erklären sich also sehr natürlich vermittelst dieser Atmosphäre.

Aber wie hat sie die Bewegungen des Umlaufs und der Umdrehung der Planeten bestimmt? Wenn diese Körper in diese Flüssigkeit gekommen wären, so würde ihr Widerstand sie auf die Sonne geworfen haben; man kann daher vermuthen, dafs sie an den successiven Grenzen dieser Atmosphäre, durch die Verdichtung der Zonen, welche sie, wie im vo-

rigen Buche gezeigt worden ist, bey ihrer Erkältung und Verdichtung auf der Oberfläche dieses Gestirns, in der Ebene ihres Aequators abgesezen mufste, entstanden seyen. Man kann auch vermuthen, dafs die Trabanten auf ähnliche Art aus den Atmosphären der Planeten entstanden seyen. Die fünf obenerwähnten Erscheinungen flieſsen natürlich aus diesen Hypothesen her, welchen die Saturnsringe einen neuen Grad von Wahrscheinlichkeit geben.

Wie es übrigens mit diesem Ursprunge des Planetensystems sich immer verhalten mag, den ich mit demjenigen Mistrauen vortrage, welches alles, was nicht ein Resultat der Beobachtung oder Rechnung ist, einflöſsen muſs; so ist so viel gewiſs, dafs seine Elemente auf solche Art geordnet sind, dafs es die gröſste Beständigkeit behaupten muſs, wenn diese nicht von äuſsern Ursachen gestört wird. Vermöge des einzigen Umstandes, dafs die Bewegungen der Planeten und Trabanten beynahe kreisförmig sind, nach einerley Richtung gehen, und in wenig unterschiedenen Ebenen liegen, macht dieses System blos Schwingungen um einen mittleren Zustand, wovon es immer nur sehr wenig sich entfernt; die mittleren Bewegungen der Umdrehung und des

Umlaufs seiner verschiedenen Körper sind gleichförmig, und ihre mittleren Entfernungen von den Brennpunkten der Hauptkräfte, die sie treiben, beständig.

Es scheint, dafs die Natur am Himmel alles angeordnet habe, um die Dauer dieses Systems sicher zu stellen, durch Rücksichten, die denen ähnlich sind, die sie uns auf der Erde auf eine so bewundernswürdige Art zu beobachten scheint, um die Erhaltung der Individuen, und die Fortdauer der Gattungen zu bewirken.

Wir wollen jezt unsere Blicke über das Sonnensystem hinaus richten. Unzählbare Sonnen, welche die Mittelpunkte von eben so vielen Planetensystemen seyn können, sind durch den unermefslichen Weltraum zerstreut, und in einer solchen Entfernung von der Erde, dafs der ganze Durchmesser der Erdbahn, von ihrem Mittelpunkte aus betrachtet, unmerklich ist. Mehrere Sterne leiden an ihrer Farbe und an ihrer Klarheit sehr merkwürdige periodische Veränderungen; es giebt andere, welche plözlich erschienen, und, nachdem sie eine Zeit lang ein lebhaftes Licht verbreitet hatten, wieder verschwunden sind. Welche ungeheure Veränderungen mufsten auf der

Oberfläche dieser grofsen Körper vorgehen, um in dem Abstande, der uns von ihnen trennt, so merklich zu seyn! Alle diese unsichtbar gewordenen Körper sind an der nämlichen Stelle, wo man sie beobachtet hat, weil sie solche während der Zeit ihrer Sichtbarkeit nicht verändert haben. Es giebt also in den Räumen des Himmels so beträchtliche dunkle Körper, und vielleicht in eben so grofser Anzahl, als die Fixsterne. Ein leuchtender Stern von gleicher Dichtigkeit mit der Erde, dessen Durchmesser 250mal gröfser wäre, als der der Sonne, würde, vermöge seiner Attraction, keinen von seinen Stralen bis zu uns kommen lassen; es ist daher möglich, dafs die gröfsten leuchtenden Körper des Weltalls, eben aus dem Grunde unsichtbar sind. Ein Stern, der zwar nicht so grofs, aber doch beträchtlich gröfser als die Sonne wäre, würde die Geschwindigkeit des Lichts merklich schwächen, und mithin seine Aberration vergröfsern. Dieser Unterschied in der Aberration der Fixsterne, ein Verzeichnifs derer, die blofs erscheinen, mit Beobachtungen ihrer Lage im Augenblicke ihres vergänglichen Glanzes, die Bestimmung aller veränderlichen Sterne und ihrer periodischen Lichtabwechselungen, endlich die eigenen Be-

wegungen aller der grofsen Körper, die, vermöge ihrer wechselseitigen Attraction, und wahrscheinlich auch anfänglicher Stöfse, unermefsliche Bahnen beschreiben; dies werden, in Ansehung der Fixsterne, die wichtigsten Gegenstände der künftigen Astronomie seyn.

Es scheint, dafs diese Sterne, an Statt in ohngefähr gleichen Entfernungen durch den Weltraum zerstreut zu seyn, in verschiedene Gruppen, deren jede aus mehreren Milliarden von Sternen besteht, zusammen verbunden seyen. Unsere Sonne und die glänzendsten Fixsterne machen wahrscheinlich einen Theil einer solchen Gruppe aus, welche, aus unserem Standpunkte gesehen, sich um den Himmel herzuziehen scheint, und die *Milchstrafse* bildet. Die grofse Menge von Sternen, die man im Felde eines nach diesem Streifen gerichteten grofsen Teleskops zugleich erblickt, beweifst uns seine unermefsliche Tiefe, die tausendmal gröfser ist, als die Entfernung des *Sirius* von der Erde. Wenn man sich davon entfernte, so würde sie endlich unter der Gestalt eines blassen und zusammenhangenden Lichts von einem kleinen Durchmesser erscheinen; denn alsdann würde die *Irradiation*, die auch bey den stärksten Teleskopen besteht,

die Zwischenräume der Sterne bedecken und unmerklich machen. Es ist daher wahrscheinlich, dafs die sternlosen Nebelflecken aus sehr grofsen Entfernungen gesehene Sterngruppen sind, denen man nur näher zu kommen brauchte, um sie unter ähnlichen Gestalten, wie die Milchstrafse, zu sehen. Die gegenseitigen Entfernungen der Sterne, welche jede Gruppe bilden, sind zum wenigsten hunderttausendmal gröfser, als die Entfernung der Sonne von der Erde; man kann also von der ungeheuren Ausdehnung dieser Gruppen nach der Menge der Sterne urtheilen, die man in der Milchstrafse sieht. Wenn man ferner über die geringe Breite und die grofse Zahl der Nebelflecken nachdenkt, die durch unvergleichbar gröfsere Zwischenräume von einander getrennt sind, als die Sterne, woraus sie bestehen; so wird es der über die Unermefslichkeit des Weltalls erstaunten Einbildungskraft schwer, sich Grenzen dabey zu denken.

Aus diesen Betrachtungen, die sich auf die teleskopischen Beobachtungen gründen, folgt, dafs die Nebelflecken, welche uns scharf genug begrenzt erscheinen, um ihre Mittelpunkte mit Genauigkeit angeben zu können, für uns die vestesten Gegenstände am Himmel,

und diejenigen sind, auf welche die Lage aller Gestirne am schicklichsten bezogen werden kann. Es folgt ferner daraus, dafs die Bewegungen der Körper unsers Sonnensystems sehr zusammengesezt sind. Der Mond beschreibt eine beynahe kreisförmige Bahn um die Erde; aber aus der Sonne gesehen, beschreibt er eine Reihe von Epicykloiden, deren Mittelpunkte in der Peripherie der Erdbahn liegen. Eben so beschreibt die Erde eine Reihe von Epicykloiden, deren Mittelpunkte in der Curve liegen, welche die Sonne um den Schwerpunkt unsers Nebelflecks beschreibt; endlich beschreibt die Sonne selbst eine Reihe von Epicykloiden, deren Mittelpunkte in der Curve liegen, welche der Schwerpunkt unsers Nebelflecks um den des Weltalls beschreibt. Die Astronomie hat schon einen grofsen Schritt gemacht, da sie uns die Bewegung der Erde und die Reihe von Epicykloiden kennen lehrte, welche der Mond und die Trabanten auf den Planetenbahnen beschreiben. Es ist noch übrig, die Bahn der Sonne und die des Schwerpunkts ihres Nebelflecks zu bestimmen. Aber, wenn Jahrhunderte nöthig waren, um die Bewegungen des Planetensystems zu erkennen, was für einen ungeheuren Zeitraum wird die Bestim-

mung der Bewegungen der Sonne und der Fixsterne erfordern? Die Beobachtungen fangen an sie gewahrnehmen zu lassen; und man hat versucht, sie aus einer bloſsen Ortsveränderung der Sonne zu erklären, welche ihre Umdrehungsbewegung anzuzeigen scheint. Mehrere Beobachtungen lassen sich ziemlich gut darstellen, wenn man annimmt, das Sonnensystem rücke gegen das Sternbild des Herkules fort. Andere Beobachtungen scheinen zu beweisen, daſs diese scheinbaren Bewegungen der Fixsterne aus der Verbindung ihrer wahren Bewegungen mit der der Sonne entstehen. Die Zeit wird über diesen Gegenstand sonderbare und wichtige Wahrheiten entdecken.

Auch über unser eigenes System sind noch zahlreiche Entdeckungen zu machen übrig. Der Planet Uranus und seine neuentdeckten Trabanten lassen das Daseyn einiger bisher noch nicht beobachteten Planeten vermuthen. Ferner hat man die Umdrehungsbewegungen und die Abplattung mehrerer Planeten, und der meisten Trabanten noch nicht beobachten können; endlich kennt man die Massen aller dieser Körper noch nicht mit zureichender Genauigkeit. Die Theorie ihrer Bewegungen

ist eine Reihe von Näherungen, deren Convergenz zugleich von der Vervollkommnung der Werkzeuge und den Fortschritten der Analysis abhängt, und daher von Tag zu Tag neue Grade der Genauigkeit erhalten mufs. Man wird durch genaue und vielfältige Messungen die Ungleichheiten der Figur der Erde und die Veränderung der Schwere auf ihrer Oberfläche bestimmen. Die Zurückkunft der bereits beobachteten Kometen, die Erscheinungen neuer, besonders solcher, die, da sie sich in hyperbolischen Bahnen bewegen, von einem Systeme zum andern irren können; die Störungen, welche alle diese Gestirne leiden, und welche in der Nähe eines grofsen Planeten ihre Bahnen gänzlich ändern können, wie man vermuthet, dafs dies dem Kometen vom Jahre 1770. durch die Wirkung des Jupiters begegnet sey; die Zufälle, welche die grofse Annäherung und selbst der Stofs dieser Körper, auf den Planeten und Trabanten verursachen können; endlich die Veränderungen, welche die Bewegungen des Sonnensystems von Seiten der Fixsterne erfahren, dies sind die vornehmsten Gegenstände, welche dieses System den Untersuchungen der künftigen Astronomen und Geometer darbietet.

In ihrem ganzen Umfange betrachtet ist die Astronomie das schönste Denkmal des menschlichen Geistes, die edelste Urkunde seines Verstandes. Verführt durch die Täuschungen der Sonne und die Eigenliebe hat er sich lange Zeit als den Mittelpunkt der Bewegungen der Gestirne betrachtet, aber sein Stolz ist durch die leeren Schrecknisse, die sie ihm eingejagt haben, bestraft worden. Endlich haben die Arbeiten mehrerer Jahrhunderte den Schleyer weggezogen, welcher das Weltsystem bedeckte. Dann sah sich der Mensch auf einem kleinen, in dem grofsen Umfange des Sonnensystems, welches selbst nur ein unmerklicher Punkt in dem unermefslichen Weltraume ist, kaum bemerkbaren Planeten. Die erhabenen Resultate, wozu diese Entdeckung ihn geführt hat, können ihn wegen des kleinen Plazes, den sie ihm im Weltall anweiset, hinreichend trösten. Wir wollen den Schaz dieser erhabenen Kenntnisse, das Vergnügen denkender Wesen, sorgfältig erhalten, und noch vermehren. Sie haben der Schiffahrt und der Geographie wichtige Dienste geleistet; aber ihre gröfste Wohlthat ist die, dafs sie die durch aufserordentliche Erscheinungen am Himmel veranlafsten Schrecknisse zerstreuet,

und die aus Unbekanntschaft mit unsern wahren Verhältnissen gegen die Natur entstandenen Irrthümer zerstört haben, welche um so viel trauriger waren, da die gesellschaftliche Verbindung sich einzig auf diese Verhältnisse stüzen muſs. *Wahrheit* und *Gerechtigkeit* sind ihre unveränderlichen Geseze. Ferne sey von uns die gefährliche Maxime, daſs es zuweilen nüzlich sey, davon abzuweichen, und die Menschen zu betrügen, oder zu unterjochen, um ihr Glück zu bevestigen. Grausame Erfahrungen haben zu allen Zeiten gelehrt, daſs diese geheiligten Geseze nie ungestraft übertreten worden sind.

Druckfehler und Verbesserungen.

Seite 11. Zeile 8. von unten statt: Kepplerischen, lese man: Keplerischen.

— 12. Z. 8. von oben, nach betrachten ist einzuschalten: werden.

— 18. Z. 13. von oben, statt: von der Erde, l. m. von der der Erde.

— 26. Z. 8. von oben, statt: Erscheinungen, l. m. Entfernungen.

— 31. Z. 12. von oben, ist nach den Worten: muſs man, einzuschalteu: sie mit dem Quadrate von der Tangente der Sonnenparallaxe multipliciren, und

— 35. Z. 5. v. oben, ist vor dem Worte: Oeffnung, einzuschalten: scheinbare.

— 76. Z. 5. v. oben, statt: Junes, l. m. Jones.

— 99. Z. 2. von unten, statt: Trabanten, l. m. Trabantenbahnen.

— 105. Z. 3. v. oben, satt: es, l. m. der Fehler.

— 110. Z. 2. von unten, statt: von der Gleichartigkeit, l. m. von der der Gleichartigkeit.

— 139. Z. 9. von unten, statt: nur, l. m. nun.

— 143. Z. 14. v. unten, statt: Kraft, l. m. Kräfte.

— 145. Z. 2. von oben, ist nach dem Worte: aber, einzuschalten: die

— 149. Z. 8. von unten, statt: Asquator, l. m. Aequator.

Ebend. Z. 1. von unten, sind die Worte: „und das Gesez“, auszulöschen.

— 153. Z. 2. von unten, statt: men, l. m. man.

— 181. Z. 5. von oben, statt der zwey getrennten Worte: bey den, l. m. beyden, in einem Worte.

Seite 212. Z. 5. v. oben, statt: zum wenigsten zehntausend, l. m. beynahe viertausend.

— 229. Z. 2. von oben, statt: anhäuften, l. m. anhäufte.

Ebend. Z. 3. von oben, statt: Erschütterungen, l. m. Erscheinungen.

— 233. Z. 8. v. oben, statt: Sonne, l. m. Sinne.

— 238. Z. 5. von oben, statt: Genauigkeit, l. m. Ungenauigkeit.

— 243. Z. 14. von oben, statt: beobaahtet, l. m. beobachtete.

— 250. Z. 2. von oben, statt: Pheripherien, l. m. Peripherien.

— 259. Z. 3. von unten, statt: auszeichneten, l. m. auszeichnete.

— 260. Z. 6. von unten, statt: Albatagnius, l. m. Albategnius.

— 263. Z. 6. v. oben, statt: Jonis, l. m. Jones.

— 264. Z. 7. v. unten, statt: 1218. l. m. 1280.

— 272. Z. 6. v. unten, statt: für, l. m. vor.

— 276. Z. 10. von unten, statt: Kundsturp, l. m. Knudsturp.

— 280. Z. 5. v. u. statt: Mogstätt, l. m. Magstätt.

— 292. Z. 10. von oben, statt: anwenden, l. m. annehmen.

Ebend. Z. 11. von oben, statt: der, l. m. den.

— 301. Z. 7. von oben, statt: hingehenden, l. m. hin gehenden.

— 303. Z. 8. v. unten, statt: 27. l. m. 27ſten.

— 331. Z. 2. von unten, am Ende ist statt der Ziffer 5, das Absezungszeichen zu sezen.

— 339. Z. 5. v. oben, statt: Sonne, l. m. Sinne.